



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE**  
**ALIMENTOS**

**EDUARDO LORENCETTI FORNAZIER**

**EFEITO DE DIFERENTES PROCESSAMENTOS DOMÉSTICOS DE COCÇÃO NA**  
**RETENÇÃO DE  $\beta$ -CAROTENO, FENÓIS TOTAIS E NA ATIVIDADE**  
**ANTIOXIDANTE DA BATATA DOCE BIOFORTIFICADA COM CAROTENOIDES**  
**PRÓ-VITAMINA A**

**ALEGRE-ES**

**2018**

EDUARDO LORENCETTI FORNAZIER

**EFEITO DE DIFERENTES PROCESSAMENTOS DOMÉSTICOS DE COCÇÃO NA  
RETENÇÃO DE  $\beta$ -CAROTENO, FENÓIS TOTAIS E NA ATIVIDADE  
ANTIOXIDANTE DA BATATA DOCE BIOFORTIFICADA COM CAROTENOIDES  
PRÓ-VITAMINA A**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. DSc. Pollyanna Ibrahim Silva  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. DSc. Neuza Maria Brunoro Costa  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. DSc. Daniela da Silva Oliveira.

ALEGRE-ES

2018

F727e      Fornazier, Eduardo Lorencetti, 1982-  
Efeito de diferentes processamentos domésticos de cocção na  
retenção de  $\beta$ -caroteno, fenóis totais e na atividade antioxidante da  
batata doce biofortificada com carotenoides pró-vitamina a / Eduardo  
Lorencetti Fornazier. – 2018.  
57 f. : il.

Orientador: Pollyanna Ibrahim Silva.  
Coorientadores: Neuza Maria Brunoro Costa ; Daniela da Silva  
Oliveira.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias.

1. Batata-doce. 2. Biofortificação. 3. Carotenóides. I. Silva,  
Pollyanna Ibrahim. II. Costa, Neuza Maria Brunoro. III. Oliveira,  
Daniela da Silva. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro  
de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 664

EDUARDO LORENCETTI FORNAZIER

**EFEITO DE DIFERENTES PROCESSAMENTOS DOMÉSTICOS DE  
COCCÃO NA RETENÇÃO  $\beta$ -CAROTENO, FENÓIS TOTAIS E NA  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA BATATA DOCE BIOFORTIFICADA COM  
CAROTENOIDES PRÓ-VITAMINA A.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em 07 de maio de 2018.



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Pollyanna Ibrahim Silva  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora



---

Prof. Dr. Joel Camilo Souza Carneiro  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Daniela da Silva Oliveira  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinadora



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Fontes Pinheiro  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinadora

*Para meu pai, Cleber, que me ensinou a importância do estudo na realização dos nossos sonhos. E para minha filha Maria Eduarda, a quem ensinarei o mesmo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Cleber e Nádia, pelo amor, pelos ensinamentos e por todo o sacrifício que fizeram para dar a mim e às minhas irmãs a oportunidade de estudar.

Às minhas irmãs Mariana, Marcela e Mônica, por serem exemplos de perseverança, pelo carinho, amor e por toda a força que me deram.

À minha esposa Sandra, pelo amor, paciência e dedicação, e por ter andado ao meu lado durante essa longa jornada.

À Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao Departamento de Farmácia e Nutrição, por me conceder o tempo para estar trabalhando neste mestrado.

À minha orientadora professora Pollyanna, por toda a orientação que me deu durante o mestrado e por sempre me impulsionar a melhorar cada vez mais.

À minha coorientadora professora Neuza, por estar sempre me ajudando na vida acadêmica e profissional.

À minha coorientadora professora Daniela pela ajuda nas análises de carotenoides e na correção da dissertação.

Ao professor Joel e ao meu amigo Lindomar, pela ajuda nas análises estatística.

Às professoras Juliana e Patrícia pelo tempo disponibilizado para ajudar no UPLC e no HPLC.

À todos os professores do programa, pelos conhecimentos transmitidos e pelo tempo disponibilizado em estar ajudando no andamento do trabalho.

Aos alunos do PCTA, pela amizade, força, ajuda e pelos momentos divertidos por qual passamos e passaremos juntos.

Aos meus companheiros de trabalho, Amanda, Natália, Silvana, Letícia e Maurício, por toda ajuda e força que me deram neste período.

À tia Luzia, pelas dicas no preparo das batatas doces e ao tio Adilson, pela amizade e companhia.

À tia Lili, que sempre me disse para nunca desistir e sempre acreditou que eu conseguiria chegar mais longe do que eu acreditava.

Por fim, agradeço a Deus, pois ele colocou todas essas pessoas em meu caminho e elas me mostraram todas as portas que eu deveria entrar.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Equipamentos e parâmetros utilizados nos processamentos doméstico de cocção das batatas doces convencional e biofortificada.....	16
<b>Tabela 2</b> – Análises físico-químicas das batatas <i>in natura</i> convencional e biofortificada.....	23
<b>Tabela 3</b> - Variação de massa pós-cocção (%).....	24
<b>Tabela 4</b> - Análise instrumental de cor da batata biofortificada e convencional, <i>in natura</i> e no pós-cocção.....	26
<b>Tabela 5</b> – Estimativa de fenólicos totais (mg EAG/g) das batatas convencionais e biofortificadas.....	27
<b>Tabela 6</b> - Atividade antioxidante pelo método DPPH (% Sequestro de Radical Livre) das batatas convencionais e biofortificadas.....	30
<b>Tabela 7</b> - Atividade antioxidante total pelo método ABTS (μMol Trolox/g) das batatas convencionais e biofortificadas.....	31
<b>Tabela 8</b> - Retenção real de β-caroteno na batata doce biofortificada pós-cocção (%).....	33

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Principais carotenoides encontrados no plasma humano.....	5
<b>Figura 2:</b> Batatas doces convencionais e biofortificadas, <i>in natura</i> .....	14
<b>Figura 3:</b> Corte das batatas doces.....	15
<b>Figura 4:</b> Cromatograma, obtido por CLAE, do extrato da batata doce biofortificada Beauregard <i>in natura</i> .....	33



## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> - Cálculo da concentração de carboidratos.....	18
<b>Equação 2</b> - Diferença global de cor ( $\Delta E$ ).....	18
<b>Equação 3</b> - Porcentagem de sequestro do radical livre (%SRL).....	20
<b>Equação 4</b> - Porcentagens de retenção real do carotenoide.....	21

## SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
2.1. Objetivo geral.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
3.1. Batata doce .....	3
3.2. Biofortificação .....	4
3.3. Carotenoides pró-vitamina A .....	5
3.4. Compostos fenólicos .....	6
3.5. Estabilidade e processamento .....	7
3.6. Métodos de cocção.....	10
3.6.1. Cocção em microondas.....	11
3.6.2. Cocção em panela de pressão.....	11
3.6.3. Cocção em panela elétrica <i>air fryer</i> .....	11
3.6.4. Cocção por fritura em óleo vegetal.....	12
3.6.5. Cocção em forno elétrico.....	12
3.6.6. Cocção por imersão em água quente.....	12
3.6.7. Cocção a vapor .....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
4.1. Obtenção da matéria prima .....	14
4.2. Preparo da matéria prima.....	14
4.3. Processos de cocção da matéria prima.....	15
4.4. Composição físico-química da matéria-prima <i>in natura</i> .....	16
4.4.1. Umidade .....	17
4.4.2. Sólidos solúveis .....	17
4.4.3. Proteínas .....	17
4.4.4. Cinzas .....	17
4.4.5. Lipídios .....	18
4.4.6. Cálculo de carboidratos.....	18
4.4.7. Cor instrumental .....	18

4.4.8. Fenólicos totais .....	19
4.4.9. Atividade antioxidante.....	19
4.4.9.1. DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil).....	19
4.4.9.2. ABTS (2,2'-azino-bis[3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid]) .....	20
4.4.10. Análise de $\beta$ -caroteno.....	20
4.4.11. Retenção real do $\beta$ -caroteno (%RR) .....	21
4.5. Análise estatística dos dados .....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1. Composição físico-química.....	23
5.2. Cor instrumental .....	25
5.3. Fenólicos totais.....	27
5.4. Atividade antioxidante.....	29
5.5. Análise de retenção real do $\beta$ -caroteno .....	32
6. CONCLUSÃO .....	37
7. REFERÊNCIAS .....	38

## RESUMO

**FORNAZIER, Eduardo Lorencetti. Efeito de diferentes processamentos domésticos de cocção na retenção de  $\beta$ -caroteno, fenóis totais e na atividade antioxidante da batata doce biofortificada com carotenoides pró-vitamina A.** 2018 Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientadora: Prof<sup>a</sup>. DSc. Pollyanna Ibrahim Silva. Coorientadoras: Prof.<sup>a</sup> DSc. Neuza Maria Brunoro Costa e Prof<sup>a</sup>. DSc. Daniela da Silva Oliveira.

A batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é fonte de fibras, carboidratos, minerais, vitamina C e compostos fitoquímicos como carotenoides e compostos fenólicos. Existe diversas cultivares contendo carotenoides pró-vitamina A em concentrações variáveis, no entanto, a espécie de batata doce de polpa alaranjada, que possui as maiores concentrações, ainda é pouco utilizada e pode representar uma estratégia viável para combater a deficiência de vitamina A nos países em desenvolvimento. Foi desenvolvido através do projeto de biofortificação de alimentos, o germoplasma Beauregard, cujos teores de carotenoides são em média 100 vezes superiores em comparação as batatas doces convencionais de polpa branca. Após a cocção, sabe-se que o teor de carotenoides nos alimentos pode ser significativamente afetado, contudo podem ser utilizados diferentes métodos para o preparo da batata e alguns podem auxiliar na manutenção das características nutricionais. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de sete diferentes processos domésticos de cocção: fritura em óleo, fritura em panela elétrica do tipo *air fryer*, cozimento a vapor em panela elétrica do tipo “panela de arroz”, cozimento por imersão em água fervente, cozimento em panela de pressão, assamento em forno elétrico e preparo em forno de microondas, no teor de compostos fenólicos, e na atividade antioxidante nas batatas doces convencionais e biofortificadas e, na retenção real de  $\beta$ -caroteno na batata doce biofortificada. Foi realizada a composição centesimal e análise instrumental de cor nas batatas doces *in natura*. Posteriormente, as batatas doces foram descascadas, lavadas e cortadas no formato de “palito” e coccionadas nos diversos processamentos. O delineamento experimental aplicado foi fatorial e foi realizada análise de variância e teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparar as médias dos compostos analisados entre os processamentos e entre os tipos de batatas. A batata doce biofortificada *in natura* apresentou concentrações superiores de fenóis totais e atividade antioxidante em relação à batata doce convencional. Os processos *air fryer* e fritura em óleo apresentaram os melhores resultados para compostos fenólicos. Os métodos fritura em óleo, forno elétrico, panela de pressão e *air fryer* foram os melhores processos na preservação da atividade antioxidante pelo método DPPH e *air fryer*, forno elétrico e microondas pelo método pelo ABTS. Os cozimentos em panela de pressão (103,26 %) e imersão em água quente (93,72 %) foram identificados como os melhores métodos de processamento doméstico para aumentar a retenção de  $\beta$ -caroteno em batatas doces biofortificadas.

**Palavras-chave:** Batata doce; biofortificação; cocção;  $\beta$ -caroteno.

## ABSTRACT

FORNAZIER, Eduardo Lorencetti. **Effect of different domestic cooking processes on  $\beta$ -carotene retention, total phenols and antioxidant activity of sweet potato biofortified with carotenoids pro-vitamin A.** 2018 Dissertation (Master in Food Science and Technology) - Federal University of Espírito Santo, Alegre - ES. Advisor: Prof<sup>a</sup>. DSc. Pollyanna Ibrahim Silva. Co-advisor: Prof<sup>a</sup>. DSc. Neuza Maria Brunoro Costa and Prof<sup>a</sup>. DSc. Daniela da Silva Oliveira.

The sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) is a source of fiber, carbohydrates, minerals, vitamin C and phytochemical compounds such as carotenoids and phenolic compounds. There are several cultivars containing pro-vitamin A carotenoids at varying concentrations; however, the orange pulp sweet potato species, which has the highest concentrations, is still poorly used and may represent a viable strategy to combat vitamin A deficiency in underdeveloped countries. The Beauregard germplasm was developed through a food biofortification project, whose carotenoid contents are on average 100 times higher than conventional sweet potatoes of white pulp. After cooking, it is known that the carotenoid content in the food can be significantly affected, however different methods can be used for the preparation of the potato and some can help in maintaining the nutritional characteristics. The objective of this study was to evaluate the effect of seven different domestic cooking processes: frying in oil, frying in an electric fryer of the air fryer type, steam cooking in electric pan of the type "rice cooker", cooking by immersion in boiling water, cooking in a pressure cooker, electric oven baking and microwaving under the phenolic compound and antioxidant activity in conventional and biofortified sweet potatoes, and the actual retention of  $\beta$ -carotene in biofortified sweet potatoes. The centesimal composition and color instrumental analysis were performed on sweet potatoes *in natura*. Subsequently, the sweet potatoes were peeled, washed and cut in the shape of "toothpick" and cooked in various processes. The experimental design was a factorial and Tukey test ( $p < 0.05$ ) was used to compare the mean values of the analyzed compounds between the treatments and between the types of potatoes. The sweet potato biofortified *in natura* presented superior concentrations of total phenols and antioxidant activity in relation to the conventional sweet potato. The air fryer and oil frying processes presented the best results for phenolic compounds. The frying methods in oil, electric oven, pressure cooker and air fryer were the best processes in the preservation of antioxidant activity by the DPPH method and air fryer, electric oven and microwave by the method by ABTS. Cookies in pressure cookers (103.26%) and immersion in hot water (93.72%) were identified as the best methods of domestic processing to increase the retention of  $\beta$ -carotene in biofortified sweet potatoes.

**Keywords:** Sweet potato; biofortification; cooking;  $\beta$ -carotene.

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos epidemiológicos e com animais apontam que o consumo de frutas e vegetais está associado a um menor risco de desenvolvimento de doenças crônicas e à diminuição da taxa de mortalidade devido a doenças do coração e degenerativas, assim como na prevenção de câncer e do envelhecimento precoce (DAUCHET; AMOUYET; DALLONGEVILLE, 2005; BLESSINGTON *et al.*, 2010). A esta funcionalidade, atribui-se a presença de compostos fitoquímicos, fenólicos e outros compostos bioativos, cuja ação de neutralizar os radicais livres, protegem o organismo contra o estresse oxidativo (LIU; LIN; YANG, 2009).

A batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é fonte de fibras, carboidratos, minerais, vitamina C e compostos fitoquímicos como carotenoides e compostos fenólicos, reportados como antioxidantes e redutores das atividades inflamatória e carcinogênica (EZEKIEL *et al.*, 2013). Foram encontradas diversas cultivares contendo carotenoides pró-vitamina A em concentrações variáveis, no entanto a espécie de batata doce de polpa alaranjada, que possui as maiores concentrações, ainda é pouco utilizada e pode representar uma estratégia viável para combater a deficiência de vitamina A nos países em desenvolvimento (BERNI *et al.*, 2015). Foi desenvolvido no Brasil, através de um projeto de biofortificação de alimentos, o germoplasma Beauregard, cujos teores de carotenoides são em média 100 vezes maiores do que nas batatas doces de polpa branca (EMBRAPA, 2017).

As batatas doces são normalmente coccionadas de formas distintas antes de serem consumidas. O método de cocção varia de acordo com a tradição culinária do país, podendo ser frita em óleo, assada, cozida a vapor ou utilizando microondas e fritadeira elétrica do tipo *air fryer*. Porém, independente do método, sabe-se que o teor de carotenoides do alimento após a cocção pode ser significativamente afetado e poucos dados sobre as perdas de carotenoides em batata doce biofortificada estão disponíveis na literatura (TIAN *et al.*, 2016). Além disso, a atividade antioxidante e o conteúdo fenólico das batatas também podem ser significativamente afetados.

Com base no exposto, o presente estudo propôs avaliar o efeito de processamentos domésticos de cocção no teor de compostos fenólicos e na atividade antioxidante nas batatas doces convencionais e biofortificadas e na retenção real de  $\beta$ -caroteno na batata doce biofortificada com carotenoides pró-vitamina A.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar, após o preparo utilizando processamentos domésticos de cocção, a retenção real do  $\beta$ -caroteno nas batatas doces biofortificadas e o conteúdo de fenólicos totais e de atividade antioxidante nas batatas doces biofortificadas e convencionais, de forma a se verificar a eficácia desses processamentos na manutenção ou estabilidade dos compostos citados.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar análises de composição centesimal, sólidos solúveis totais, cor instrumental, fenólicos totais e atividade antioxidante na batata doce biofortificada e na convencional, ambas *in natura*;
- Preparar a batata doce biofortificada e a convencional utilizando processamentos domésticos de cocção: fritura em óleo, fritura em panela elétrica do tipo *air fryer*, cozimento a vapor em panela elétrica do tipo “panela de arroz”, cozimento por imersão em água fervente, cozimento em panela de pressão, assamento em forno elétrico e cocção em forno de microondas.
- Realizar análise instrumental de cor, fenólicos totais e atividade antioxidante, nas batatas doces convencionais e biofortificadas após os processos de cocção.
- Calcular a retenção real de  $\beta$ -caroteno na batata doce biofortificada;
- Comparar os resultados obtidos e determinar o processamento doméstico de cocção que provoque maior retenção de  $\beta$ -caroteno, conteúdo fenólico e atividade antioxidante.
- Comparar a batata doce biofortificada com a convencional em todas as análises realizadas (com exceção do  $\beta$ -caroteno).

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Batata doce**

Dentre os vegetais mais consumidos no Brasil e no mundo, destaca-se a batata doce, uma cultura rústica e que facilmente se adapta às várias condições de solo e clima (CORDEIRO; FARIA; GOUVEIA, 2013). No Brasil é cultivada em praticamente todos os estados, principalmente nas regiões Sul e Nordeste, sendo uma raiz de grande relevância na dieta de populações carentes (MELO *et al.*, 2011). É a sexta cultura alimentar mais importante do mundo e sua produção global anual é de 105 milhões de toneladas, apresenta boa aceitação popular e relevância econômica, pois possui baixo custo de produção, sendo cultivada principalmente por pequenos produtores (CARMONA *et al.*, 2015). No Brasil a produção em 2012 foi de 479.425 toneladas (IBGE, 2012).

Originária da América tropical, a raiz é uma fonte nutritiva usada para alimentação humana e animal, além de ser matéria prima para fabricação de açúcar e álcool (LIU; LIN; YANG, 2009).

Dentre as 24 variedades de batatas doces cultivadas no Brasil, as mais comercializadas são as de polpa branca e creme (DA SILVA *et al.*, 2015), contudo, foram encontradas espécies com polpa alaranjada que continham carotenoides pró-vitamina A em concentrações variáveis (SILVA *et al.*, 2010), o que poderia representar uma estratégia viável para combater a deficiência de vitamina A nos países em desenvolvimento (BERNI *et al.*, 2015).

Foi desenvolvido nos Estados Unidos em 1987, através de um projeto de biofortificação de alimentos o germoplasma Beauregard, um cultivar altamente produtivo e que foi adotado em diversos países, incluindo o Brasil (EMBRAPA, 2017). Este cultivar apresenta em média 115 µg de β-caroteno por grama de raízes frescas e num estudo comparativo de Berni *et al.* (2015) foi encontrado, nas batatas doces convencionais, de polpa alaranjada e na cultivar biofortificada, respectivamente, 0,01 µg, 38,2 µg, e 114,4 µg de β-caroteno por grama de amostra crua. No estudo de Donado-Pestana *et al.* (2012) ao avaliarem quatro genótipos de batatas doces biofortificadas, encontraram resultados que variaram entre 283 a 456 µg de β-caroteno por grama de amostra, demonstrando assim, o enorme potencial que a cultivar apresenta para suprir deficiência de vitamina A.



### 3.2. Biofortificação

Com o aumento exponencial da população mundial, o combate à desnutrição que atinge aproximadamente 30% da população torna-se um desafio e, estima-se que dois bilhões de pessoas sofram da deficiência de algum nutriente, em sua maioria mulheres grávidas e crianças menores de cinco anos (FAO, 2016).

Muitos estudos utilizando vegetais foram realizados objetivando o aumento de nutrientes específicos em suas partes comestíveis para suprir diferentes necessidades nutricionais (EMBRAPA, 2015). A biofortificação tornou-se uma ferramenta importante para este aumento, pois visa à melhoria do estado nutricional de um público específico, fornecendo um vegetal com maiores teores do elemento alvo, sem afetar negativamente o crescimento da cultivar e sem gerar aumento nos custos de produção (D'IMPERIO *et al.*, 2016).

O processo de biofortificação consiste no melhoramento genético tradicional de vegetais comestíveis e de baixo custo, utilizando manejo agrônomico sem afetar o rendimento e outros traços agronomicamente desejáveis no produto (PETRY *et al.*, 2014). Plantas de mesma espécie são cruzadas repetidamente até a geração de cultivares mais nutritivas, e as que apresentam melhores resultados são selecionadas e seguem dando continuidade à cadeia de produção (EMBRAPA, 2015).

A biofortificação de alimentos básicos como feijão, mandioca, milho e batata doce, foi introduzida como uma estratégia para aumentar a concentração de carotenoides pró-vitamina A e dos minerais ferro e zinco, visando melhorar o estado nutricional de populações em risco de deficiência (EMBRAPA, 2017). Esta técnica de melhoramento tem sido utilizada para aumentar o conteúdo de carotenoides pró-vitamina A em batata doce (JAMIL *et al.*, 2012), pois a deficiência deste elemento pode levar à hipovitaminose A, que é um problema comum em crianças e gestantes, principalmente em países subdesenvolvidos (MARTINI, 2002), e pode provocar cegueira noturna e prejudicar o crescimento e a função imune, resultando em maior risco de morbidade e mortalidade (ISLAM *et al.*, 2016).

Intervenções alimentares utilizando a batata doce biofortificada têm apresentado resultados positivos em comunidades onde existe a prevalência da deficiência de vitamina A (EMBRAPA, 2013). Estudos demonstram que o consumo de batata doce de polpa alaranjada promoveu aumento nos níveis séricos de retinol

em crianças e mulheres em risco de deficiência (JALAL *et al.*, 1998; VAN JAARSVELD *et al.*, 2005). Portanto a adoção do consumo deste cultivo promove melhoria do estado nutricional em comunidades onde a deficiência de vitamina A é persistente (HOTZ *et al.*, 2012).

### 3.3. Carotenoides pró-vitamina A

Os carotenoides são pigmentos que conferem as cores laranja, vermelha e amarela aos vegetais (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004). São compostos lipossolúveis e apresentam um importante papel no processo fotossintético, de foto proteção e na origem de substâncias voláteis em plantas, estas, importantes para a polinização (KOTÍKOVÁ *et al.*, 2016).

Dos mais de 700 carotenoides identificados, cerca de 40 são encontrados em nossa alimentação diária, porém foram detectados menos de 20 carotenoides e seus metabólitos no plasma e tecidos humanos (NISHINO *et al.*, 2009). Animais e seres humanos não conseguem sintetizar carotenoides, portanto existe a necessidade de incorporá-los à sua dieta (KOTÍKOVÁ *et al.*, 2016).

São apresentados na Figura 1 os principais carotenoides encontrados no plasma humano.

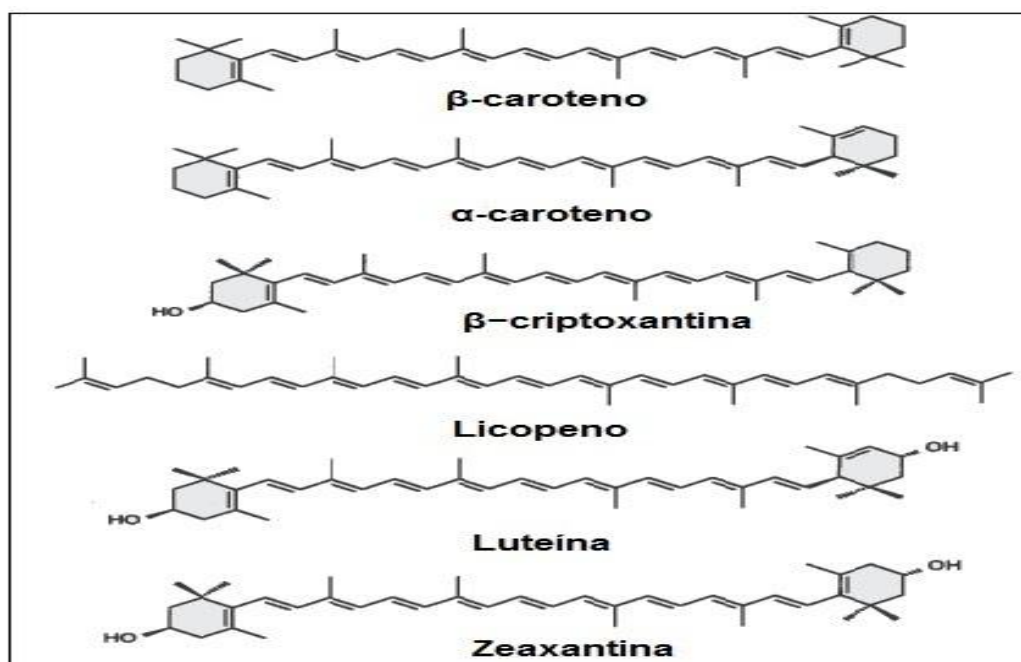


Figura 1: Principais carotenoides encontrados no plasma humano.

Fonte: Adaptado de RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004.

$\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno e  $\beta$ -criptoxantina são chamados de carotenoides pró-vitamina A, pois apresentam em sua estrutura (Figura 1), o anel  $\beta$ -ionona intacto e não oxigenado, e através do processo de clivagem enzimática, são convertidos a retinol e absorvidos pelo organismo (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004).

Os carotenoides possuem atividade antioxidante, pois podem suprimir a formação de oxigênio singlete e a peroxidação lipídica, interagindo com radicais livres, auxiliando na redução da incidência de certos tipos de cânceres e de doenças coronarianas em seres humanos (LIU; LIN; YANG, 2009).

Nas raízes da batata-doce de polpa alaranjada, destaca-se o  $\beta$ -caroteno, o mais potente precursor de vitamina A encontrado em plantas e que, após ser ingerido, é convertido em vitamina A, que é essencial para o desenvolvimento da função imune, da visão e do crescimento e integridade das células epiteliais (SIMONNE *et al.*, 1993; WOESTENENK *et al.*, 2014).

No entanto, o  $\beta$ -caroteno é susceptível à degradação causada por temperatura elevada, exposição à luz, ao oxigênio e a acidez (MURADOR; CUNHA; ROSSO, 2014). Portanto, a sua estabilidade tem sido amplamente estudada nos produtos alimentares a fim de encontrar soluções para aumentar a retenção do pigmento durante períodos de armazenamento e manipulação após a cocção do alimento (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

### **3.4. Compostos fenólicos**

Os compostos fenólicos possuem estruturas químicas contendo hidroxilas e anéis aromáticos e são originados do metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o seu crescimento, reprodução e defesa, além disso, promovem cor e aromas nos vegetais (ANGELO e JORGE, 2007; JUNG *et al.*, 2011). Estes compostos pertencem ao grupo de fitoquímicos e, dependendo da sua estrutura química, podem ser divididos nas seguintes classes: flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, estilbenos e lignanos (LE MOS; ALIYU; HUNGERFORD, 2015).

São considerados compostos bioativos presentes em frutas e vegetais e, devido aos seus efeitos benéficos, são altamente desejáveis na dieta humana, pois estudos demonstram uma correlação inversa entre a ingestão de fitoquímicos e doenças associadas ao estresse oxidativo como inflamações, doenças cardiovasculares, alguns tipos de câncer e diabetes, a isto se deve à sua ação

antioxidante (SHIH; KUO; CHIANG, 2009; DAI e MUMPER, 2010; KIM *et al.*, 2015; TIAN *et al.*, 2016).

A ação antioxidante dos compostos fenólicos deve-se à sua capacidade em retardar ou inibir a oxidação de lipídios e outros substratos oxidáveis, principalmente devido à sua capacidade de oxirredução onde ocorre a interação do antioxidante com o radical livre causando a interrupção das reações de oxidação (DEGÁSPARI e WASZCZYNSKYJ, 2004; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A capacidade antioxidante destes compostos não se deve apenas por sua capacidade de doar hidrogênio aos radicais livres, mas também devido à estabilidade dos seus radicais intermediários, que possuem alta tendência a quelar metais livres, impedindo a oxidação de diversos ingredientes dos alimentos, como os lipídios (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995; DAI e MUMPER, 2010).

Batatas doces, independente da cor de sua polpa (amarela, branca, roxa e creme) apresentam em sua constituição concentrações variáveis de compostos fenólicos, dentre eles antocianinas, flavonoides, catequinas e o ácido clorogênico (KIM *et al.*, 2012), e sua cocção induz a alterações em sua composição química, o que influencia na concentração e biodisponibilidade destes compostos (DONADO-PESTANA *et al.*, 2012).

### **3.5. Estabilidade e processamento**

As batatas doces são normalmente coccionadas de formas distintas antes de serem consumidas. O método de cocção varia de acordo com a tradição culinária do país, podendo ser frita em óleo, assada, cozida a vapor ou utilizando microondas e fritadeira elétrica do tipo *air fryer*, porém, independente do método, sabe-se que o teor de carotenoides do produto após processado pode ser significativamente afetado e poucos dados sobre as perdas de carotenoides e compostos fenólicos em batata doce biofortificada estão disponíveis na literatura (TIAN *et al.*, 2016).

Os processos de cocção podem induzir a perdas de  $\beta$ -caroteno, compostos fenólicos e compostos que respondem pela atividade antioxidante, devido à oxidação dos pigmentos e a lixiviação de compostos fenólicos solúveis em água, e concomitantemente podem levar a mudanças na integridade estrutural da matriz

alimentar suavizando o tecido vegetal e com isso facilitando a extração de pigmentos e compostos antioxidantes (KIM *et al.*, 2015).

Naturalmente o  $\beta$ -caroteno existe na forma all-trans, porém o processo de causa a isomerização da forma *trans* do  $\beta$ -caroteno para a forma *cis* levando à diminuição e à perda de sua atividade pró-vitamina A (HIRANVARACHAT; SUVARNAKUTA; DEVAHASTIN, 2008; NZAMWITA; DUODU; MINNAAR, 2017). Contudo, o aquecimento também pode promover melhor absorção de carotenoides, possivelmente devido à sua liberação a partir da matriz de alimentos tornando-os mais bioacessíveis, portando deve-se buscar processos que, além de aumentar a estabilidade, aumentem a biodisponibilidade dos carotenoides (LOUGHRILL; GOVINDEN; ZAND, 2016).

Bengtsson *et al.* (2010) verificaram através da digestão simulada *in vitro*, a bioacessibilidade de  $\beta$ -caroteno em batata doce biofortificada submetida a fervura e a fritura, e concluíram que, apesar da perda na retenção do carotenoide, os processos de cocção melhoraram a bioacessibilidade do mesmo, tendo o processamento de fervura em água, o melhor resultado.

Em estudo semelhante, Berni *et al.* (2015) avaliaram a biodisponibilidade do  $\beta$ -caroteno na batata doce biofortificada utilizando células CACO-2 após ser submetida aos processos de cocção em água fervente e de fritura, e o resultado foi uma melhor retenção e consequentemente maior biodisponibilidade após o processo de cocção em água, corroborando os dados de Bengtsson *et al.* (2010). Os autores concluíram que os processos de cocção contribuíram para a liberação do carotenoide da matriz alimentar e destacam o incentivo a pesquisas de melhores práticas de cozimento caseiro neste alimento, para que as mesmas sejam um aliado na diminuição do risco de deficiência de vitamina A.

Bechoff *et al.* (2009) avaliaram o efeito da secagem, ao sol e ao forno, na retenção de  $\beta$ -caroteno na batata doce de polpa alaranjada e observaram baixos níveis de perda, variando entre 16-34 %. Os autores atribuíram o resultado positivo ao alto teor do carotenoide nas raízes frescas (cerca de 300  $\mu\text{g/g}$ ), o que contribui para um alto valor de retenção, demonstrando um potencial para uma contribuição significativa para a vitamina A na dieta. Donado-Pestana *et al.* (2012) compararam três processos domésticos de cocção (cozimento, assamento e cozimento a vapor) em quatro clones de batata doce biofortificada e encontraram supostos aumentos na

concentração de carotenoides, sendo o cozimento no vapor o mais efetivo na retenção.

Compostos antioxidantes como os fenólicos e o ácido clorogênico também foram encontrados na cultivar Beauregard e avaliados após a cocção. Bellail *et al.* (2012) comparou nos processamentos de fervura, assamento, cozimento em microondas e fritura e sua relação com a estabilidade de compostos antioxidantes e todos os processamentos apresentaram aumento no conteúdo, porém a fritura apresentou um maior incremento. Já Velho (2016) comparou métodos tradicionais (ebulição, vapor, forno e panela de pressão) com métodos contemporâneos (microondas e forno combinado a vácuo) na retenção de compostos antioxidantes e verificou aumento em todos os processamentos, encontrando maior elevação nas amostras de batatas doces preparadas em forno tradicional.

Ao avaliarem a retenção de compostos fenólicos em batata doce de cor roxa, Tian *et al.* (2016) verificaram que o processo de fritura causou a maior perda e, a cocção em forno de microondas, não apresentou diferença no conteúdo fenólico em relação à batata doce *in natura*. Burgos *et al.* (2013) encontraram no vegetal aumento na atividade antioxidante após o processo de fervura em água.

Jung *et al.* (2011) avaliaram a retenção de compostos fenólicos e atividade antioxidante em batatas doces de polpa creme após diferentes processos de cocção, e verificaram que o assamento em forno convencional obteve menor efeito sobre o conteúdo fenólico e atividade antioxidante, enquanto a fritura em óleo e fervura em água apresentaram as maiores reduções.

Em um estudo semelhante, Vizzoto *et al.* (2017) compararam a retenção de fenólicos e a atividade antioxidante de 12 espécies de batatas doces, incluindo a biofortificada Beauregard, após processo de assamento. Os autores observaram que este cultivar, além de apresentar maior conteúdo e melhor retenção de carotenoides, mostrou resultado satisfatório na manutenção da atividade antioxidante. Já Donado-Pestana *et al.* (2012) estudaram quatro clones de batatas doces biofortificadas e encontraram melhores resultados de manutenção dos fitoquímicos no processo de fervura em relação ao de assar em forno, cozinhar em vapor e redução a farinha, sendo que este último, resultou nas maiores perdas, provavelmente devido à maior exposição.

A busca por um melhor processo de cocção em termos nutricionais também pode se aliar a um método mais saudável. Tian *et al.* (2016) ao avaliarem a retenção

de compostos antioxidantes e carotenoides em batata doce, concluíram que houve perda de fitoquímicos no processo de fritura em óleo, enquanto o processo de fritura a ar, utilizando a fritadeira tipo *air fryer*, manteve os níveis médios desses compostos e pode ser considerado como um método mais saudável.

Os estudos que envolvem a relação entre processo de cocção e manutenção de pigmentos e outros fitoquímicos permanecem contraditórios (KIM *et al.*, 2015). Kotíková *et al.* (2016) citam que o processo de cozimento das batatas doces em água levou a diminuição de carotenoides em 88 %, já Kao *et al.* (2012) encontrou no método supracitado o melhor resultado na retenção de carotenoides.

Variações nos resultados de retenção de carotenoides no mesmo alimento pós-processado podem ser atribuídas ao método de manipulação, tipo de análise ou a matriz do alimento (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004). O aprofundamento de estudos considerando processos de cocção e seu impacto nos teores de compostos benéficos à saúde deve ser realizado de maneira que os consumidores possam se beneficiar das informações geradas, para cozinhar de forma mais saudável, preservando ao máximo os valores nutricionais e funcionais do produto *in natura* (ESAN *et al.*, 2015).

### **3.6. Métodos de cocção**

Em geral, nos processamentos domésticos de vegetais, os métodos de cocção aplicados afetam sua composição nutricional, resultando em degradação, isomerização e oxidação de carotenoides e compostos bioativos (KAO *et al.*, 2012). Este impacto pode ser aumentado ou suavizado dependendo do processo escolhido, do equipamento utilizado, dos parâmetros tempo e temperatura e da manipulação do material a ser coccionado (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997; KOTÍKOVÁ *et al.*, 2016). Tradicionalmente, os métodos de cocção mais utilizados para tubérculos e raízes são os realizados em via úmida, como: cozimento em panela de pressão, por imersão em água à pressão atmosférica e à vapor. Nos processos de cocção em via seca, a fritura por imersão em óleo vegetal é a mais utilizada. Destacam-se também o assamento em forno, a cocção em microondas e a cocção em panela do tipo “*air fryer*”, estas despontando como alternativas ditas “mais saudáveis”, devido ao não uso de óleo.

### **3.6.1. Cocção em microondas**

A utilização do forno microondas tornou-se uma ferramenta indispensável devido a sua capacidade de reaquecer ou cozinhar alimentos em poucos minutos (NEW *et al.*, 2017). É um método comum utilizado no cozimento caseiro e possui vantagens como o aquecimento rápido com alta penetração de calor, economia de energia, retenção de componentes bioativos, diminuição dos fatores anti-nutricionais e inativação de microorganismos aumentando o tempo de vida útil do alimento (TIAN, *et al.*, 2016; CHIZOBA EKEZIE *et al.*, 2017; GUO *et al.*, 2017).

Neste processo, ocorre a interação das moléculas de água do alimento com as microondas produzidas pelo aparelho, induzindo o atrito molecular devido à quebra das ligações de hidrogênio das moléculas de água, gerando calor em todo o alimento rapidamente (NEW *et al.*, 2017). O aquecimento do alimento ocorre de dentro para fora e das bordas para o centro (VELHO, 2016).

### **3.6.2. Cocção em panela de pressão**

Panelas de pressão são usadas para reduzir o tempo de cozimento de vegetais e outros alimentos, isto graças à alta temperatura do vapor saturado devido ao aumento da pressão interna na panela, o que altera a estrutura das fibras do alimento promovendo maior degradação das mesmas (RAGHUNATH e NAMBI, 1998; ROCCA-POLIMÉNI; FLICK; VASSEUR, 2011). A pressão máxima que uma panela de pressão de uso doméstico pode alcançar é de 2 atm e com esta pressão podem ser alcançadas temperaturas de até 120 °C (REF, 2013).

### **3.6.3. Cocção em panela elétrica *air fryer***

A fritura em panela elétrica *air fryer* é um processamento que surgiu como estratégia para produzir alimentos fritos de modo saudável, ou seja, sem a utilização de óleo, e tem atraído muita atenção nos últimos anos (TIAN *et al.*, 2016). Neste processo, a fritura ocorre por contato direto entre o produto e a emulsão externa de gotículas de óleo no ar aquecido, que está em movimento constante na câmara de fritura, promovendo contato homogêneo entre o alimento e a emulsão (TIAN *et al.*, 2017). Desta forma, o produto é gradualmente desidratado, ocorrendo a formação



de crosta típica de alimento frito e o produto final apresenta teor de óleo 80% menor em relação a fritura tradicional (HEREDIA, *et al.*, 2014).

#### **3.6.4. Cocção por fritura em óleo vegetal**

O processo de fritura é uma das mais antigas e mais usadas técnicas de preparação de alimentos, pois além de rápido, fácil e barato, oferta um alimento com textura, cor, sabor e aroma desejáveis ao consumidor (HEREDIA, *et al.*, 2014). Esse processo envolve a imersão do alimento em óleo vegetal quente (150-190 °C), promovendo sua desidratação devido à troca de calor rápida e transferência de massa dentro do alimento, produzindo mudanças físicas e químicas em sua estrutura (PANKAJ e KEENER, 2017; TIAN *et al.*, 2017).

#### **3.6.5. Cocção em forno elétrico**

A cocção em forno elétrico é utilizada para assar alimentos a temperaturas entre 150-300 °C, resultando na formação de cor e textura aceitáveis (MCGEE, 2014). Neste processo, o cozimento ocorre através da transferência de calor do ar quente do forno para o alimento (PETISCA *et al.*, 2013). Um condutor metálico é percorrido por uma corrente elétrica e se aquece, conduzindo calor ao alimento o qual é assado lentamente ocorrendo desidratação e formação de crosta (FIORE *et al.*, 2013; MCGEE, 2014).

#### **3.6.6. Cocção por imersão em água quente**

A imersão em água quente é um processo utilizado antes do consumo ou como passo preliminar para outro tipo de cocção (Xu e Chang, 2008). Neste processo, ocorre o contato das correntes de convecção da água a temperatura de ebulição (100 °C) com o alimento, ocasionando o amolecimento dos tecidos, proporcionando a melhora de sua digestibilidade (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; MCGEE, 2014; TIAN *et al.*, 2016).

### **3.6.7. Cocção a vapor**

Cocção a vapor ou cocção indireta é um método onde os alimentos são cozidos através de vapores gerados pelo aquecimento da água a 100 °C, isto devido à transmissão de energia por parte das moléculas do vapor da água para o alimento, fazendo com que sua superfície atinja o ponto de ebulição rapidamente, levando ao amolecimento de seus respectivos tecidos (ROY *et al.*, 2009; MCGEE, 2014).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Obtenção da matéria prima

A batata doce biofortificada Beauregard, foi adquirida *in natura* através da parceria entre a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no projeto BIOFORT (Biofortificação no Brasil). A batata doce convencional, de polpa branca, cultivada em Marataízes – ES, foi adquirida em mercado local.

São apresentadas na Figura 2 as batatas doces convencional e biofortificada *in natura*.



Figura 2: Batatas doces *in natura* convencional (à esquerda) e biofortificada (à direita).

Fonte: Autor.

### 4.2. Preparo da matéria prima

O presente trabalho foi desenvolvido em laboratórios do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde (CCENS) e do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE), da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre. Após a aquisição das batatas doces convencionais e biortificadas, as mesmas foram acondicionadas em caixas de papelão durante uma semana sob refrigeração (5 °C).

Na etapa de pré-preparo, as batatas doces *in natura* foram lavadas em água corrente e descascadas. Foram cortadas na forma de palitos (Figura 3) com 1 cm de largura e 7 cm de altura, após, foram pesadas 90 gramas de cada batata doce para cada processo de cocção, sendo estes realizados em três repetições conforme descrito por Berni *et al.* (2015). Para a caracterização físico-química das batatas *in natura*, estas foram cortadas na forma de palitos e foram homogeneizadas em liquidificador.

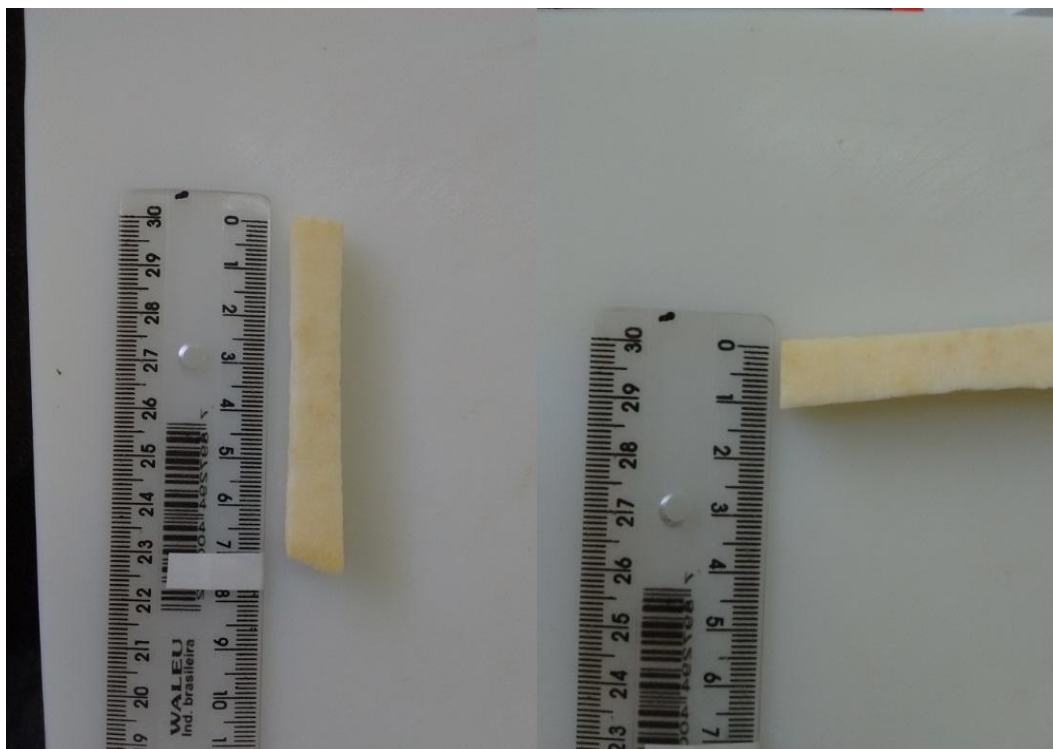


Figura 3: Corte das batatas doces.

Fonte: Autor.

#### 4.3. Processos de cocção da matéria prima

A cocção das batatas doces foi realizada simulando procedimentos domésticos comuns, como por exemplo, presença de luz, a não utilização de aditivos como antioxidantes ou conservantes e sem o uso de água ultrapura.

As batatas foram preparadas utilizando sete processamentos domésticos de cocção distintas, sendo os parâmetros de tempo e temperatura descritos por Murador; Cunha; Rosso (2014), Berni *et al.* (2015) e Tian *et al.* (2016), e baseados em testes preliminares realizados. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados nos sete processamentos.

Tabela 1 - Equipamentos e parâmetros utilizados nos processamentos domésticos de cocção das batatas doces convencional e biofortificada (90 gramas de batatas)

EQUIPAMENTO	PRÉ-AQUECIMENTO	TEMPO DE COCÇÃO	OBSERVAÇÃO
1 - <i>Air fryer</i> (Mallory Digital XL)	10 min / 200 °C	200 °C / 15 min	---
2 - Cozimento a vapor (Philco PAR1)	10 min	10 min	1 L de Água
3 - Panela de pressão (Panela comum)	---	Após a pressão 5 min	1 L de Água
4 - Imersão em água (Panela comum)	Fervura	7 min	½ L Água
5 - Forno elétrico (Nardeli NEO 1700)	10 min / 150 °C	40 min / 150 °C	---
6 - Fritura em óleo (Óleo de soja)	190 °C	7 min	300 mL de Óleo
7 - Microondas (Panasonic NNST34)	---	5 min a potência média (450W)	20 mL de Água

Nas amostras coccionadas por imersão em água à pressão atmosférica (4), panela de pressão (3), a vapor (2) e fritas em óleo (6), o conteúdo de água de cozimento e óleo foram descartados após a cocção, e as amostras foram secas em papel absorvente e resfriadas durante 5 minutos à temperatura ambiente. Após, foram pesadas e armazenadas em sacos plásticos de polietileno com camada laminada e armazenadas em ultrafreezer a -80 °C, até o momento das análises. Nos processamentos microondas (7), *air fryer* (1) e assamento (5), as amostras foram acondicionadas nas mesmas condições supracitadas.

Após a realização dos processos de cocção, as amostras foram novamente pesadas a fim de investigar a variação de massa nas batatas doces biofortificadas e convencionais.

#### 4.4. Composição físico-química da matéria-prima *in natura*

A composição físico-química das batatas doces biofortificadas e convencionais ambas *in natura*, foram avaliadas de acordo com *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1997). Todas as amostras, lavadas e isentas de

cascas, foram previamente homogeneizadas em liquidificador (PHILIPS WALITA – RI7625). Os resultados foram apresentados em base seca (bs).

#### **4.4.1. Umidade**

A umidade foi determinada pela secagem direta em estufa. Em balança analítica (SHIMADZU - AUY 220) pesou-se cinco gramas de amostra em placa de petri. As amostras foram levadas a estufa (BIOPAR - TKL 48) a 105 °C durante seis horas e depois levadas a um dessecador para esfriar e novamente serem pesadas. Após pesadas, as amostras retornaram a estufa por mais uma hora e novamente foram pesadas, para verificar se o peso se mantinha constante. Após oito horas foi verificado peso constante e o resultado foi expresso em percentual de umidade.

#### **4.4.2. Sólidos solúveis**

Os sólidos solúveis totais das batatas doces foram determinados pelo método de refratometria, em que as amostras *in natura* depois de homogeneizadas foram filtradas e em seguida colocou-se três gotas do filtrado no refratômetro de bancada (HANNA – HI 96804) à temperatura ambiente. O resultado foi expresso em °Brix.

#### **4.4.3. Proteínas**

O teor de proteínas foi determinado pelo método de *Kjeldahl* modificado. Foram pesados 200 mg de amostra em tubo digestor de borosilicato previamente adicionado de 1,5 g de catalisador (sulfato de cobre e sulfato de potássio). Foi adicionado 6 mL de ácido sulfúrico P.A e os tubos foram levados ao bloco digestor (MARCONI – MA 4025) onde permaneceram por seis horas. A destilação foi realizada com hidróxido de sódio a 50 % em destilador (TECNAL - TE 036/1). Após a titulação com ácido clorídrico 0,1 N obteve-se o percentual de nitrogênio e utilizando-se o fator de 6,25, converteu-se o resultado para percentual de proteína.

#### **4.4.4. Cinzas**

As cinzas foram determinadas pelo método de incineração em mufla. Cinco gramas de amostra foram pesadas em cadinho e levadas à mufla (STECNO - 707)

para incinerar a 550 °C durante cinco horas. O resultado foi expresso em percentual de cinzas.

#### 4.4.5. Lipídios

O teor de lipídios foi determinado utilizando extração com solvente à quente em *Soxhlet*. Dois gramas de amostra úmida foram pesados no cartucho do aparelho e foi adicionado 20 mL de éter de petróleo P.A no corpo de aquecimento do *Soxhlet* (TECNAL). Após quatro horas de refluxo, o copo contendo a fração lipídica foi levado à estufa para evaporar o resíduo de solvente, depois de resfriado e pesado, obteve-se o resultado em percentual de lipídios.

#### 4.4.6. Cálculo de carboidratos

A concentração de carboidratos foi calculada por diferença por meio da Equação 1:

$$\%CHO = 100 - \%Umidade - \%Proteína - \%Cinzas - \%Lípidios \quad \text{Eq. 1}$$

#### 4.4.7. Cor instrumental

Os atributos de cor foram medidos nas batatas doces tanto *in natura*, quanto processada, de acordo com o método usado por Kim *et al.* (2015), sendo a seção transversal do produto inserida no colorímetro (KONICA MINOLTA – CM 5) e suas coordenadas de cor foram mensuradas. Os resultados foram apresentados como L\* (luminosidade), a\* (intensidade de vermelho e verde) e b\* (intensidade de amarelo e azul), utilizando o sistema CIELab com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°.

Para caracterizar a diferença global de cor,  $\Delta E$ , de cada batata doce processada frente à *in natura*, foi utilizada a Equação 2.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta A^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Eq. 2}$$

#### 4.4.8. Fenólicos totais

O teor de fenóis totais foi analisado nas batatas doces (*in natura* e processadas) de acordo com procedimento adaptado de Singleton e Rossi (1965). Em ambiente isento de luz, 1 g de amostra foi macerada em solução contendo 10 mL de metanol 60 % (v/v) e depois submetida à agitação em agitador magnético (KASV – K 40) durante uma hora a 40 rpm. O extrato obtido foi centrifugado em centrífuga refrigerada (THERMO – MEGAFUGE 16R) a 2200 g, a 20 °C, durante 20 minutos, e o sobrenadante foi coletado em balão de 10 mL e armazenado em freezer a -18°C. 600 µL de amostra foram misturados a 3 mL do reagente Folin-Ciocalteu a 10 % (v/v), e após 3 minutos, houve adição de 2,4 mL de carbonato de sódio a 7,5 % (m/v), mantendo-se a mistura em repouso por 1 h à temperatura ambiente no escuro. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro leitor de Elisa (THERMO – MULTISKAN GO) a 760 nm. O conteúdo de fenóis totais foi calculado utilizando uma curva padrão de ácido gálico (0 – 90 mg/L). Os dados foram expressos em base seca, em miligramas de equivalentes de ácido gálico (mg EAG. g<sup>-1</sup> de amostra).

#### 4.4.9. Atividade antioxidante

Foram utilizados dois métodos para avaliar a atividade antioxidante dos dois tipos de batatas doces, tanto *in natura*, quanto processadas: a atividade sequestrante de radical livre utilizando o radical DPPH e a atividade anti-radical livre utilizando-se o método de ensaio do radical ABTS.

Os extratos foram preparados conforme descrito por Brand-Williams; Cuvelier; Berset (1995) com modificações. 1 g da amostra foi macerado com 10 mL de álcool 80% (v/v) durante 2 minutos em almofariz. Após repouso de uma hora, com ausência de luz, o extrato foi centrifugado (2200 g, 20°C, durante 20 minutos) e o sobrenadante armazenado a -18 °C até as leituras espectrofotométricas.

##### 4.4.9.1. DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)

Seguindo o descrito por Jung *et al.* (2011) com modificações, foi preparada solução etanólica de DPPH 0,1 mM e sua absorbância foi lida a 517 nm.



Determinou-se por meio de testes que o tempo de reação foi de 40 minutos. 1 mL do radical DPPH foi misturado a 100 µL do extrato contendo a amostra e foi incubado durante 40 minutos à temperatura ambiente. A porcentagem de sequestro do radical livre (%SRL), em base seca, foi calculada pela Equação 3.

$$\%SRL = 1 - \frac{A_{amostra} - A_{branco}}{A_{controle}} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

- A amostra = Absorbância da amostra teste;
- A branco = Absorbância do etanol 80% e;
- A controle = Solução de DPPH sem a amostra.

#### **4.4.9.2. ABTS (2,2'-azino-bis[3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid])**

Para a formação do radical ABTS•+, utilizou-se o método descrito por Re *et al.* (1999). A uma solução aquosa de ABTS 7 mM foi adicionada uma solução de persulfato de potássio 2,45 mM. Esta mistura foi mantida no escuro à temperatura ambiente por 16 horas. Após este tempo a absorbância foi corrigida para 0,70 (±0,02) a 734 nm com adição de etanol 80% (v/v). A 3,5 mL da solução de radical ABTS•+ foram adicionados 0,5 mL de cada extrato, e realizada leitura espectrofotométrica após 6 minutos de reação. Foi utilizado o Trolox como padrão para a confecção da curva de calibração (0-150 µM/g). Os resultados foram expressos em equivalente de Trolox (TEAC, µMol Trolox.g<sup>-1</sup>), e em base seca.

#### **4.4.10. Análise de β-caroteno**

As amostras de batatas doces - biofortificada e convencional, *tanto in natura* quanto processadas, passaram pelo processo de extração com base em Rodriguez-Amaya e Kimura (2004). Cinco gramas de amostras foram trituradas com 60 mL de acetona resfriada, dividida em três volumes de 20 mL, em almofariz durante dois minutos. O material foi filtrado a vácuo e transferido para éter de petróleo em funil de separação, logo após foi armazenado em vidro âmbar a temperatura de -18°C até o momento da análise. Uma alíquota (2 mL) do extrato foi evaporada e resgatada na

mesma quantidade de acetona. Posteriormente o material foi filtrado em unidades filtrantes com 0,22 µm de porosidade antes da análise. A extração foi conduzida sem incidência de luz direta e os padrões e amostras preparadas foram mantidos em temperatura de congelamento até o momento da injeção no Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência (CLAE – Shimadzu).

A determinação cromatográfica do β-caroteno foi realizada utilizando CLAE conforme as condições cromatográficas adaptadas de Pinheiro-Sant'Ana *et al.*, (1998), tais como eluição isocrática; fase móvel composta por metanol:acetato de etila:acetonitrila (50:40:10 v:v:v); fluxo da fase móvel: 2 mL/min; coluna Phenomenex C18, 250 x 4,6 mm, em temperatura de 24 °C; detector UV-Visível; volume de injeção: 30 µL. Os cromatogramas foram lidos em comprimento de onda de 450 nm.

O β-caroteno foi identificado por comparação com o tempo de retenção do padrão (Sigma-Aldrich). A quantificação foi realizada pela construção de uma curva de calibração do padrão de β-caroteno e os dados foram utilizados para o cálculo de retenção real deste composto.

#### **4.4.11. Retenção real do β-caroteno (%RR)**

As porcentagens de “retenção real” do carotenoide, nas batatas biofortificadas pós-cocção, foram calculadas de acordo com o método proposto por Murphy; Criner; Gray (1975), utilizando a Equação 4:

$$\%RR = \frac{C_p \times P_p}{C_c \times P_c} \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

Onde;

% RR = porcentagem de retenção real,

C<sub>p</sub> = conteúdo do componente por grama do alimento após cocção,

P<sub>p</sub> = peso do alimento (em gramas) após cocção,

C<sub>c</sub> = conteúdo do componente por grama do alimento antes da cocção,

P<sub>c</sub> = peso do alimento antes da cocção (em gramas).

#### 4.5. Análise estatística dos dados

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições, em esquema fatorial, sendo o fator 1 o tipo de batata (convencional e biofortificada) e o fator 2 a forma de preparo (sete processamentos mais o produto *in natura*). Foram consideradas para este experimento as variáveis umidade, sólidos solúveis, cinzas, proteína, lipídios, carboidratos, variação de massa,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ , polifenóis totais, ABTS e DPPH. Para a variável retenção real (%RR) foram considerados apenas os resultados para a batata doce biofortificada, alvo principal deste estudo, visto que a batata doce convencional apresenta concentrações muito pequenas de  $\beta$ -caroteno.

As análises foram realizadas em triplicatas. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey para comparação entre médias.

Para a realização destes procedimentos foi utilizado o software gratuito GENES (Aplicativo Computacional em Genética e Estatística Experimental) disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa (CRUZ, 2013), considerando-se  $p < 0,05$  para resultados significativos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram verificadas interações significativas pelo teste F ( $p < 0,01$ ) para as variáveis variação de massa,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ , polifenóis totais, ABTS e DPPH em relação aos fatores tipo de batata (biofortificada e convencional) e forma de preparo, ou seja, os fatores não atuam de forma independente.

### 5.1. Composição físico-química

A composição físico-química foi realizada apenas no produto não processado, ou seja, *in natura* (Tabela 2). Essas análises foram realizadas a fim de caracterizar a matéria prima.

Tabela 2 - Análises físico-químicas das batatas *in natura* convencional e biofortificada

Características	Convencional	Biofortificada	C.V. (%)
Umidade (%)	73,66 <sup>b</sup>	79,59 <sup>a</sup>	0,57
Sólidos Solúveis (°BRIX)	9,53 <sup>a</sup>	8,93 <sup>a</sup>	3,56
Cinzas (%)	5,62 <sup>a</sup>	2,36 <sup>b</sup>	13,52
Proteína (%)	5,34 <sup>b</sup>	14,26 <sup>a</sup>	13,93
Lipídios (%)	2,18 <sup>a</sup>	2,27 <sup>a</sup>	33,07
*Carboidratos (%)	86,92 <sup>a</sup>	81,11 <sup>b</sup>	1,51

Dados em base seca. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste F ( $p > 0,05$ ). \*Carboidratos obtidos por diferença. CV= coeficiente de variação.

A análise de variância indicou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre a batata convencional e a biofortificada para as variáveis umidade, cinzas, proteína e carboidrato. Essas diferenças podem ser explicadas pelo tipo de variedade do cultivar, tipo de solo, adubação, clima, época de colheita e manejo agrônomo, fatores estes que levam a esta variabilidade nos dados obtidos (CARVALHO; MOURA; STURN, 1995; RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004). Não foram constatadas diferenças nas características sólidos solúveis e lipídios ( $p > 0,05$ ).

Os resultados encontrados referentes a cinzas, lipídios e carboidratos (2,36 %, 2,27 % e 81,11 %) da batata doce biofortificada, corroboram com os encontrados nos estudos de Mei; Mu; Han (2010) que encontraram 1,6-3,0 % de cinzas; de Oboh; Ologhob; Tewe (1989), os quais encontraram 0,3-3,0 % de lipídios e de Ravindran *et*

al. (1995), que encontraram carboidratos variando de 66-82 %. Os autores citados investigaram ao todo 75 cultivares de batatas doces dentre elas a *Beauregar*, e apresentaram resultados para proteínas variando entre 1,9-9,6 %, resultados estes abaixo do encontrado no presente estudo (14,26 %).

A batata doce convencional apresentou maior teor de cinzas (5,62 %), em contrapartida, a batata biofortificada apresentou alto valor proteico (14,26 %), e essas variações na composição físico-química de vegetais, são associadas mais com as condições ambientais do que com o genótipo (HWANG *et al.*, 2016).

As batatas doces convencionais e biofortificadas foram pesadas antes e após a realização dos processos domésticos de cocção, a fim de investigar variações de massa (Tabela 3).

Tabela 3 - Variação de massa pós-cocção (%)

Processamento	Convencional	Biofortificada
<i>Air fryer</i>	-55,6 A e	-67,27 B d
Cozimento a vapor	2,22 A a	-1,46 B a
Panela de pressão	4,79 A a	0,27 B a
Imersão	5,11 A a	-2,1 B a
Forno elétrico	-37,64 A c	-49,26 B c
Fritura em óleo	-50,15 A d	-48,49 A c
Microondas	-10,72 A b	-12,23 A b

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Obs.: Dados negativos significam perda de massa. Coeficiente de variação = -9,93 %.

Ao observar o comportamento das amostras pós-cocção de batata biofortificada, observou-se que o processo *air fryer* apresentou a maior perda de massa (-67,27 %), seguido de forno elétrico (-49,26 %) e de fritura em óleo (-48,49 %), estes dois não apresentando diferença entre si ( $p > 0,05$ ). Os processos de cocção a vapor (-1,46 %), panela de pressão (0,27 %) e imersão (-2,10 %) apresentaram menor variação de massa em relação ao observado na batata doce comum, entretanto estes processos não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ).

Na batata doce convencional, a cocção em *air fryer* (-55,60 %), assim como na biofortificada, obteve a maior perda de massa. Os processos de cocção

cozimento a vapor (2,22 %), panela de pressão (4,79 %) e imersão (5,11 %) da apresentaram ganhos iguais de massa ( $p>0,05$ ).

Nos processos domésticos de cocção, ocorre transferência do calor gerado pela fonte (aparelho elétrico ou chama) para o alimento, levando a alterações físico-químicas como a alteração da massa, devido à perda de compostos voláteis, evaporação ou mesmo a absorção de água (COLESTINO, 2010), conforme observado nos processos cozimento a vapor, panela de pressão e imersão, realizados na batata doce convencional e na panela de pressão para a batata doce biofortificada.

Foi observado, na cocção em forno de microondas, perda de massa na batata doce biofortificada (12,23 %) e na batata doce comum (10,72 %), não diferindo entre si ( $p>0,05$ ). Essas perdas são relacionadas à presença de grânulos de amido menos hidratados e inchados que promovem a evaporação da água intracelular durante o cozimento em microondas (YANG; ACHAERANDIO; PUJOLÀ, 2016).

A variação de massa após os processos de cocção pode impactar na concentração de compostos bioativos devido à perda de água, resultando em um aumento aparente em seu conteúdo e pode também resultar em perda de compostos devido à lixiviação dos mesmos para a água de cozimento (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

## **5.2. Cor instrumental**

Para as coordenadas de cor das secções transversais das duas variedades de batatas antes e após os processos de cocção, os valores de  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (intensidade de vermelho e verde) e  $b^*$  (intensidade de amarelo e azul) foram obtidos, além da diferença global de cor,  $\Delta E$  (Tabela 4), através do sistema de coordenadas CIELAB.

Tabela 4 - Análise instrumental de cor da batata biofortificada e convencional, *in natura* e no pós-cocção

Processamento	L*		a*		b*		$\Delta E$	
	*Conv.	Bio.	Conv.	Bio.	Conv.	Bio.	Conv.	Bio.
<i>In natura</i>	76,11 A a	62,65 B a	2,22 B bc	32,47 A a	27,95 B a	37,33 A ab	----	----
<i>Air fryer</i>	69,92 A a	50,18 B bc	4,32 B ab	12,49 A e	30,01 A a	24,69 B c	9,43 B cd	27,00 A a
Cozimento a vapor	63,59 A bc	51,22 B bc	3,56 B d	27,47 A bc	30,13 B a	40,56 A a	14,28 A abc	13,21 A c
Panela de pressão	61,74 A c	52,44 B bc	4,89 B d	24,61 A cd	27,30 B a	42,08 A a	16,07 A ab	14,33 A bc
Imersão	72,03 A a	53,78 B b	3,39 B d	25,81 A cd	34,93 B a	42,00 A a	10,40 A bcd	12,13 A c
Forno elétrico	73,76 A a	54,24 B b	1,11 B cd	31,26 A ab	30,51 B a	41,90 A a	5,69 B d	10,45 A c
Fritura	60,65 A c	46,62 B c	6,91 B a	22,47 A d	33,69 B a	31,14 A bc	17,21 A a	20,01 A b
Microondas	73,53 A a	51,80 B bc	3,96 B d	27,78 A bc	29,70 B a	43,29 A a	7,40 B d	13,43 A bc

\*Conv.: batata doce convencional. Bio: Batata doce biofortificada.

\*\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL (entre os tipos de batatas, dentro do mesmo parâmetro de cor) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na VERTICAL (entre os processamentos, dentro do mesmo parâmetro) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). L\*: Luminosidade; a\*: intensidade de vermelho e verde; b\*: intensidade de amarelo e azul;  $\Delta E$ : diferença global de cor. Coeficientes de variação: L\* = 4,32 %, a\* = 11,52 %, b\* = 9,12 % e  $\Delta E$  = 14,36 %.

Os resultados demonstraram que, para o parâmetro  $L^*$ , houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os dois tipos de batatas antes e após os processos de cocção, isto facilmente distinguido devido à diferença de cor entre os dois produtos, conforme apresentado anteriormente na Figura 2. Este comportamento foi observado também nos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ .

Nas batatas biofortificadas, avaliando os processamentos em comparação ao produto *in natura*, em todos, houve perda de luminosidade, levando a um escurecimento da amostra. Apenas o processo forno elétrico não apresentou perda da cor vermelha ( $p > 0,05$ ), representada pela coordenada  $a^*$ . Para a coloração amarela, representada pela coordenada  $b^*$ , apenas a cocção em *air fryer* ocasionou a perda da coloração das batatas biofortificadas ( $p < 0,05$ ).

A diminuição nos valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  após a cocção, pode estar relacionada à perda de carotenoides porque estes pigmentos naturais são lábeis à luz, ao calor e ao oxigênio (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004; KIM *et al.*, 2015).

A diferença global de cor é definida pela comparação numérica entre uma amostra e um padrão (no presente estudo, os padrões foram as batatas doces convencionais e biofortificadas *in natura*), portanto, ao estudar os resultados do parâmetro  $\Delta E$ , foi percebido que todos os processamentos apresentaram diferença na variação global de cor em relação ao padrão batata doce *in natura*, logo, todos os processos resultaram em diferença global de cor diferente do padrão, esta perceptível a “olho nu” (KONICA MINOLTA, 2006), pois todos apresentaram  $\Delta E > 5$  (KIM *et al.*, 2015). Na comparação entre a batata doce biofortificada com a batata doce convencional, ambas *in natura*, foi encontrado  $\Delta E = 34,41$ , evidenciando elevada diferença de cor entre as batatas doces.

### 5.3. Fenólicos totais

Em relação ao conteúdo de fenólicos totais, a batata doce biofortificada apresentou maior concentração em relação à comum (Tabela 5), resultados superiores aos encontrados por Bellail *et al.* (2012) e por Vizzoto *et al.* (2017), que encontraram respectivamente 0,87 e 0,81 mg EAG/g em batatas doces de polpa alaranjada. Contudo, o presente estudo apresentou resultado parecido ao encontrado por Donado-Pestana *et al.* (2012), os quais encontraram 1,17 mg EAG/g.



Tabela 5 – Estimativa de fenólicos totais (mg EAG/g\*) das batatas convencionais e biofortificadas

PROCESSAMENTO	CONVENCIONAL	BIOFORTIFICADA
<i>In natura</i>	1,21 B ab	1,71 A bc
<i>Air fryer</i>	1,57 B a	2,70 A a
Cozimento a vapor	0,84 B bc	1,60 A bcd
Panela de pressão	0,73 A bc	1,19 A cd
Imersão	0,70 B bc	1,41 A cd
Forno elétrico	0,43 B c	0,97 A d
Fritura em óleo	0,66 B bc	2,28 A ab
Microondas	0,77 A bc	1,01 A cd

\*Resultados em base seca. \*\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) e médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Coeficiente de variação = 22,41 %.

Teow *et al.* (2007) encontraram a concentração de 0,21 mg/g de fenóis totais na batata doce Beauregard, resultado inferior ao encontrado neste estudo (1,71 mg/g). Jung *et al.* (2011) citam que o ácido fenólico mais abundante encontrado em batatas doces é o ácido clorogênico, este encontrado em maior concentração na variedade de polpa alaranjada em relação a outras sete variedades investigadas em seu estudo. Os autores atribuíram essa diferença no conteúdo fenólico a fatores ambientais.

O processamento doméstico de cocção *air fryer* (2,70 mg EAG/g), ocasionou em um aumento aparente significativo ( $p < 0,05$ ) na concentração de compostos fenólicos na batata doce biofortificada, os outros processos, com exceção do forno elétrico, não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ) no teor fenólico em relação ao da batata doce biofortificada *in natura*, mostrando-se eficientes na retenção do composto.

Este aumento no conteúdo fenólico, ocasionado pela cocção em *air fryer*, pode ser explicado, pois durante alguns processamentos domésticos podem ocorrer, além de um aumento na concentração dos compostos devido à perda de água, a abertura da matriz celular das batatas doces, promovendo a liberação de compostos fitoquímicos e o aquecimento também promove inativação da enzima polifenoloxidase, evitando a degradação dos ácidos fenólicos (TRUONG *et al.*, 2007; BELLAIL *et al.*, 2012; TIAN *et al.*, 2016).

Na batata doce convencional, assim como observado na biofortificada, apenas a cocção em forno elétrico não foi eficiente na manutenção de compostos fenólicos, resultando em perda do composto.

Tian *et al.* 2016 reportaram perdas de compostos fenólicos em batata doce de polpa roxa após a cocção utilizando *air fryer* e fritura em óleo, (32,52 % e 14,08 %), porém nos processos de fervura e cozimento a vapor o conteúdo fenólico total foi aumentado (7,09 % e 11,93 %). Os autores citaram que os processos de fritura ocasionaram a ruptura da matriz do alimento expondo a antocianina e facilitando sua degradação térmica.

Donado-Pestana *et al.* (2012) não encontraram diferenças significativas no teor de compostos fenólicos após cozimento em água fervente de quatro clones de batatas doces biofortificadas, indicando que este processo foi eficiente na retenção dos composto, resultado parecido ao encontrado neste estudo.

#### **5.4. Atividade antioxidante**

Ao observar os resultados da atividade antioxidante pelo método DPPH (Tabela 6), verificou-se que a batata doce biofortificada apresentou maior atividade antioxidante (79,85 %) em relação a convencional (43,76 %) no estado *in natura*. Resultado semelhante ao encontrado pelo método ABTS, o qual apresentou para batata doce biofortificada maior capacidade antioxidante (46,93  $\mu\text{Mol Trolox/g}$ ) em relação a convencional (27,76  $\mu\text{Mol Trolox/g}$ ), conforme descrito na Tabela 7.

Estes resultados confirmam que a batata doce biofortificada, de polpa alaranjada, tem apresentado maiores conteúdos de compostos bioativos com ação antioxidante em relação à batata doce convencional de polpa creme (KIDMOSE *et al.*, 2007; EMBRAPA, 2017).

Tabela 6 - Atividade antioxidante pelo método DPPH (% Sequestro de Radical Livre) das batatas convencionais e biofortificadas

PROCESSAMENTO	CONVENCIONAL	BIOFORTIFICADA
In natura	43,76 B f	79,85 A bc
Air Fryer	98,60 A a	90,64 B ab
Cozimento A Vapor	79,54 A bc	80,64 A bc
Panela De Pressão	61,42 B de	84,5 A abc
Imersão	72,24 B cd	81,12 A bc
Forno Elétrico	54,64 B ef	91,67 A ab
Fritura Em Óleo	83,15 B bc	96,6 A a
Microondas	88,44 A ab	75,16 B c

\*Resultados em base seca. \*\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) e médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Coeficiente de variação = 5,58 %.

Observando o comportamento pós-cocção na batata doce convencional, apenas o processo forno elétrico (54,64 %) não apresentou aumento significativo ( $p > 0,05$ ) na atividade antioxidante, já os processos *air fryer* (98,60 %) e microondas (88,44 %) apresentaram os maiores aumentos. Fritura em óleo (96,60 %), forno elétrico (91,67 %), panela de pressão (84,50 %) e *air fryer* (90,64 %) apresentaram maior retenção da atividade antioxidante na batata doce biofortificada, não diferindo entre si ( $p > 0,05$ ).

Aumento da atividade antioxidante, na cultivar *Beauregar*, pelo método DPPH foi observado nos processos ebulição, microondas e assamento (BELLAI *et al.*, 2012). Assim como neste estudo, o processo em *air fryer* apresentou um notável aumento (30 %) na capacidade antioxidante utilizando o mesmo método (TIAN *et al.*, 2016), este fato foi atribuído às diversas reações químicas como a reação de Maillard, induzida pela alta intensidade térmica produzida pelo aparelho, o que pode levar à geração de novos compostos, geralmente com elevadas atividades antioxidantes (NICOLI; ANESE; PARPINEL, 1999; KITA *et al.*, 2013; TIAN *et al.*, 2016).

Tabela 7 - Atividade antioxidante total pelo método ABTS ( $\mu\text{Mol Trolox/g}$ ) das batatas convencionais e biofortificadas

PROCESSAMENTO	CONVENCIONAL	BIOFORTIFICADA
<i>In natura</i>	27,76 B a	46,93 A a
<i>Air Fryer</i>	16,5 A bc	17,41 A b
Cozimento a vapor	11,08 A de	8,31 A de
Panela de pressão	20,57 A b	11,08 B cde
Imersão	20,67 A b	7,3 B e
Forno elétrico	8,98 B de	15,3 A bc
Fritura em óleo	6,09 A e	7,23 A e
Microondas	12,17 A cd	13,39 A bcd

\*Resultados em base seca. \*\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na HORIZONTAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) e médias seguidas por pelo menos uma mesma letra minúscula na VERTICAL não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Coeficiente de variação = 12,53 %.

Todos os processamentos domésticos apresentaram perda significativa ( $p < 0,05$ ) da capacidade antioxidante medida pelo método do cátion radical ABTS $^{\bullet+}$  em relação à batata doce *in natura* convencional.

Na batata doce biofortificada, todos os processamentos domésticos resultaram em perdas na atividade antioxidante pelo ABTS. *Air fryer*, forno elétrico e microondas foram os que melhor apresentaram retenção da capacidade antioxidante, também não diferindo entre si ( $p > 0,05$ ).

Observou-se no estudo que o ensaio antioxidante por DPPH apresentou alguns aumentos nos valores após os processos de cocção, já o ensaio por ABTS apresentou decréscimos nos valores. Donado-Pestana *et al.* (2012) identificaram decréscimo da capacidade antioxidante das raízes frescas de batatas doces de polpa alaranjada após aplicar os processos de cozimento, vapor e assamento, utilizando os dois métodos. Contudo, os valores de DPPH foram correlacionados apenas com o conteúdo total de carotenoides, e os valores de ABTS foram correlacionados apenas com o conteúdo fenólico (KUSKOSKI *et al.*, 2005; DONADO-PESTANA *et al.*, 2012; WANG; NIE; ZHU, 2016).

O alto conteúdo fenólico está correlacionado com elevadas concentrações de antocianinas, presentes principalmente em batatas doces de cor roxa (TIAN *et al.*, 2016), já a batata utilizada neste estudo, de polpa alaranjada, não apresentou quantidades significativas de antocianinas em estudos de outros autores (JUNG *et al.*, 2011; BELLAIL *et al.*, 2012; VIZZOTO, *et al.*, 2017).

## 5.5. Análise de retenção real do $\beta$ -caroteno

Após testes preliminares, verificou-se que a batata doce convencional apresentou quantidades muito pequenas de  $\beta$ -caroteno (dados não mostrados). Desta forma, a análise de retenção real foi realizada apenas para a batata doce biofortificada.

A batata doce biofortificada *Beauregar*, de polpa alaranjada, apresenta uma concentração de  $\beta$ -caroteno até 100 vezes maior em relação a convencional, de polpa creme ou branca, e a concentração média de  $\beta$ -caroteno encontrada nesta cultivar, de acordo com a EMBRAPA (2017) é de 115  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno por grama de raízes frescas.

Bengtsson *et al.* (2008), verificaram a concentração de carotenoides em sete variedades de batatas doces de polpa alaranjada e encontraram valores entre 108,1-314,5  $\mu\text{g/g}$ . Donado-Pestana *et al.* (2012) encontraram teores de carotenoides variando entre 283-456  $\mu\text{g/g}$  de  $\beta$ -caroteno nos quatro clones de batatas doces biofortificadas.

Berni *et al.* (2014) compararam a cultivar *Beauregar* com um clone de batata doce comum. Foi encontrado na espécie biofortificada um teor de carotenoides de 114,4  $\mu\text{g/g}$ , em contrapartida, não foram encontrados carotenoides na batata doce comum, fato também observado em outros estudos (KIM *et al.*, 2015; KOTÍKOVÁ *et al.* 2016; VELHO 2016). Islan *et al.* (2016) compararam concentrações de carotenoides em batatas doces de polpa amarela, laranja, branca e creme e encontraram os valores de 1,02  $\mu\text{g/g}$  na batata doce de polpa branca, 3,78  $\mu\text{g/g}$  na de polpa creme, 5,64  $\mu\text{g/g}$  na de polpa amarela e 61,94  $\mu\text{g/g}$  na cultivar alaranjada.

Vizzoto *et al.* (2017) verificaram os teores de carotenoides em batatas doces de polpa branca, creme, roxa e alaranjada. A cultivar *Beauregar*, apresentou teor de carotenoides de 4 a 103 vezes maiores em relação aos clones de outras cores, demonstrando assim enorme potencial desta cultivar em fornecer carotenoides pró-vitamina A em quantidades superiores, mesmo depois de submetidas a processos domésticos de cocção.

Na Figura 4 encontra-se o cromatograma do extrato da batata doce biofortificada *in natura*, onde foi identificado o  $\beta$ -caroteno (1) através da comparação com o tempo de retenção (3,84 minutos) de seu respectivo padrão.

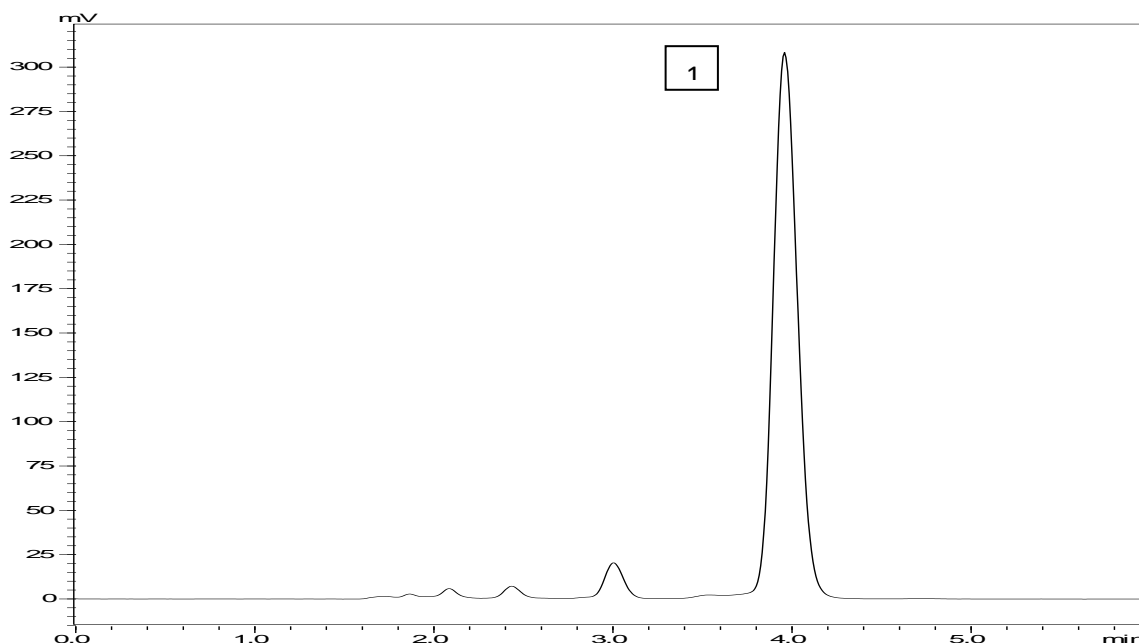


Figura 4: Cromatograma, obtido por CLAE, do extrato da batata doce biofortificada Beaugard *in natura*. Condições cromatográficas: eluição isocrática; fase móvel: metanol:acetato de etila:acetonitrila (50:40:10 v:v:v); fluxo da fase móvel: 2 mL/min; coluna Phenomenex C18, 250 x 4,6 mm, 24 °C; detector UV-Visível; volume de injeção: 30  $\mu$ L. Comprimento de onda de 450 nm. 1:  $\beta$ -caroteno.

A concentração de  $\beta$ -caroteno da batata doce biofortificada *in natura* do presente estudo foi obtida a fim de realizar o cálculo de retenção real do composto após passar pelos processamentos domésticos de cocção (Tabela 8).

Tabela 8 – Retenção real de  $\beta$ -caroteno na batata doce biofortificada pós-cocção (%)

PROCESSAMENTO	% RETENÇÃO REAL
<i>Air Fryer</i>	31,67 <sup>d</sup>
Cozimento A Vapor	59,67 <sup>b</sup>
Panela De Pressão	103,26 <sup>a</sup>
Imersão	93,72 <sup>a</sup>
Forno Elétrico	43,16 <sup>c</sup>
Fritura Em Óleo	58,65 <sup>b</sup>
Microondas	44,62 <sup>c</sup>

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). Obs.: *in natura* possui 100% de retenção real. Coeficiente de variação = 6,49 %.

A análise de variância ( $p < 0,01$ ) indicou que existem diferenças entre os processos da batata doce biofortificada. Os processos realizados na panela de pressão (103,26 %) e por imersão em água quente (93,72 %), foram identificados como os melhores procedimentos domésticos de cocção para manutenção do  $\beta$ -caroteno, em contrapartida, a fritura da batata doce biofortificada em fritadeira elétrica do tipo *air fryer* (31,67 %), foi o processo menos indicado.

Os cozimentos realizados com vapor de água e por fritura em óleo não apresentaram diferença ( $p > 0,05$ ) na retenção do composto, assim como os procedimentos utilizando microondas e forno elétrico.

Foi observado neste estudo, que o processo *air fryer* apresentou menor retenção, portanto ele induziu à maior perda (68,33 %) no teor de  $\beta$ -caroteno. Tian *et al.* (2016) relataram que o processo de fritura a ar (*air fryer*), reduziu o teor de carotenoides em batata doce (72 %), pois neste processo, ocorre contato direto do alimento com uma fonte de ar quente (200 °C) circulando a alta velocidade durante um tempo relativamente longo (10 minutos), facilitando a degradação dos carotenoides presentes no alimento. Este fator deve-se a alta instabilidade deste composto quando submetido a altas temperaturas em tempos longos (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O processo de cozimento em forno elétrico (43,16 %) apresentou baixa retenção. Donado-Pestana *et al.* (2012) assaram batatas doces biofortificadas em forno elétrico e verificaram perdas em todas as quatro cultivares. O processo em forno elétrico exige um longo tempo de cozimento (40 minutos) a alta temperatura (150 °C) e isso favorece a degradação e isomerização dos carotenoides, pois tratam-se de moléculas altamente insaturadas, o que as torna propensas a isomerização *trans-cis* e à oxidação (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997; KIDMOSE, *et al.* 2007; DONADO-PESTANA *et al.* 2012).

As perdas de carotenoides após a cocção em forno microondas são associadas à alta potência (450 W) utilizada durante o procedimento (GUO *et al.*, 2017). Nawirska-Olszańska; Stępień; Biesiada (2017) verificaram maiores retenções de carotenoides ao utilizarem microondas à baixa faixa de potência (100-250 W), pois o aumento da potência induz a um rápido aumento na temperatura levando a isomerização e oxidação do composto.

O cozimento a vapor é o processo mais estudado para avaliar a retenção de carotenoides, pois é apresentado como um processo térmico favorável para a

retenção destes compostos (BENGTSSON *et al.*, 2008; DONADO-PESTANA *et al.*, 2012; KAO *et al.*, 2012; Tian *et al.* 2016, VELHO, 2016). No presente estudo, foi observada retenção de 59,67 % de  $\beta$ -caroteno nas batatas doces biofortificadas após cozimento ao vapor. Contudo, o cozimento a vapor em panela elétrica de arroz, ou seja, em sistema fechado, pode ter induzido a variações acima da temperatura do vapor na pressão atmosférica (100 °C), resultando em oxidação do composto.

Os carotenoides podem estar complexados a diferentes proteínas na matriz do alimento cru, o que contribui para uma extração menos eficiente destes compostos, porém durante o cozimento a vapor, ocorre desnaturação de proteínas, suavização do tecido vegetal e consequentemente a liberação dos carotenoides desse complexo, implicando na facilidade de extração (MURADOR; CUNHA; ROSSO, 2014). Ao mesmo tempo, o carotenoide extraído da matriz estará mais exposto a agentes oxidantes, como a alta temperatura do vapor, luz e oxigênio, implicando em sua degradação e isomerização (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997; TIAN *et al.*, 2016).

O processo de fritar em óleo apresentou retenção de 58,65 %. Bengtsson *et al.* (2008) encontraram 76 % de retenção de  $\beta$ -caroteno em batata doce de polpa alaranjada após fritar em óleo, e atribuem a diminuição do teor à alterações estruturais nos carotenoides decorrente da oxidação não enzimática promovida durante o processo, resultando em perda de carotenoides. Além disso, perdas durante a fritura podem ser ocasionadas devido à natureza lipofílica dos carotenoides, o que pode levar a lixiviação do composto em óleo, além disso, a alta temperatura empregada (190 °C) auxilia na degradação do composto (KAO *et al.*, 2012). A redução no tempo de fritura pode ajudar a aumentar valores de retenção do  $\beta$ -caroteno (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

O processo de cocção em água quente (imersão) apresentou alta retenção (93,72 %) e foi citado como método que preserva o conteúdo de carotenoides (KAO *et al.*, 2012; KIM *et al.*, 2015; KOTÍKOVÁ *et al.*, 2016). O binômio tempo e temperatura (100 °C/7 minutos) relativamente baixos em comparação aos demais processamentos, a natureza hidrofóbica do carotenoide e sua extração facilitada devido ao amolecimento das paredes celulares, podem auxiliar no aumento de sua retenção (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004; KOTÍKOVÁ *et al.* 2016). Ao contrário, Blessington *et al.* (2010) identificaram perdas de carotenoides nos oito clones de batatas cozidas em água, porém o uso de água deionizada, o longo tempo



de cozimento (25 minutos) e o corte das amostras em cubos, podem ter contribuído para este fato.

O cozimento em panela de pressão apresentou aumento aparente na retenção real (103,26 %), contudo, valores de retenção podem ser superestimados. Com o cozimento sob pressão, pode haver um maior amolecimento do tecido, e consequentemente, uma maior liberação dos compostos da amostra para posterior extração, pois o  $\beta$ -caroteno encontra-se ligado a outros componentes da matriz do alimento, o que dificulta a penetração dos solventes extratores (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997. Além disso, dificuldades em controlar as condições do processo podem levar a erros experimentais, que superestimam os resultados (RODRIGUEZ-AMAYA e KIMURA, 2004).

## 6. CONCLUSÃO

A análise de composição centesimal mostrou que a batata doce biofortificada *in natura* apresentou maior teor de umidade e de proteína, em contrapartida a batata doce convencional *in natura* apresentou maior teor de cinzas e carboidratos. As duas culturas não apresentaram diferenças ( $p>0,05$ ) no teor de lipídios e na concentração de sólidos solúveis. A batata doce biofortificada *in natura*, apresenta maiores concentrações de fenóis totais e de compostos antioxidantes em relação à convencional. Essas diferenças nos teores de compostos bioativos se devem a fatores como a variedade da cultivar e aos tratos culturais utilizados.

Em relação aos procedimentos domésticos de cocção, a cocção de batatas doces biofortificadas em panela elétrica de fritura *air fryer* foi a mais indicada para manutenção de compostos fenólicos e antioxidantes.

Os cozimentos em panela de pressão e imersão em água quente foram verificados como os melhores métodos na retenção de  $\beta$ -caroteno em batatas doces biofortificadas.

A biofortificação de batata doce é uma abordagem alimentar sustentável e que pode ser utilizada como estratégia para combater a deficiência de vitamina A. Sugerem-se novos estudos a fim de verificar a retenção de carotenoides variando o binômio tempo/temperatura durante os processos de cocção e a avaliação da biodisponibilidade destes compostos após esses processos.

## 7. REFERÊNCIAS

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1–9, 2007.

AOAC. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 16th ed. Gaithersburg: 1997.

BECHOFF, A.; DUFOUR, D.; DHUIQUE-MAYER, C.; MAROUZÉ, C.; REYNES, M.; WESTBY, A. Effect of hot air, solar and sun drying treatments on provitamin A retention in orange-fleshed sweetpotato. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 164–171, 2009.

BELLAIL, A. A; SHALTOUT, O. E.; YOUSSEF, M. M.; GAMAL, A. M. A EL. Effect of Home-Cooking Methods on Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Sweetpotato (*Ipomoea batatas* ( L .) Lam .) Cultivars Grown in Egypt. **Food and Nutrition Sciences**, v. 3, p. 490–499, 2012.

BENGTSSON, A.; BRACKMANN, C.; ENEJDER, A.; ALMINGER, M. L.; SVANBERG, U. Effects of thermal processing on the in vitro bioaccessibility and microstructure of  $\beta$ -carotene in orange-fleshed sweet potato. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 20, p. 11090–11096, 2010.

BENGTSSON, A.; NAMUTEBI, A.; ALMINGER, M. L.; SVANBERG, U. Effects of various traditional processing methods on the all-trans- $\beta$ -carotene content of orange-fleshed sweet potato. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 2, p. 134–143, 2008.

BERNI, P.; CHITCHUMROONCHOKCHAI, C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; DE MOURA, F. F.; FAILLA, M. L. Comparison of Content and In vitro Bioaccessibility of Provitamin A Carotenoids in Home Cooked and Commercially Processed Orange Fleshed Sweet Potato (*Ipomea batatas* Lam). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 70, n. 1, p. 1–8, 2015.

BLESSINGTON, T.; NZARAMBA, M. N.; SCHEURING, D. C.; HALE, A. L.; REDDIVARI, L.; MILLER, J. C. Cooking Methods and Storage Treatments of Potato: Effects on Carotenoids, Antioxidant Activity, and Phenolics. **American Journal of Potato Research**, v. 87, n. 6, p. 479–491, 2010.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BURGOS, G.; AMOROS, W.; MUÑOA, L.; SOSA, P.; CAYHUALLA, E.; SANCHEZ, C.; DÍAZ, C.; BONIERBALE, M. Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 30, n. 1, p. 6–12, 2013.

- CARMONA, P. A. O.; PEIXOTO, J. R.; AMARO, G. B.; MENDONÇA, M. A. Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando descritores morfoagronômicos das raízes. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 251–256, 2015.
- CARVALHO, M. P.M.; MOURA, L.L.; STURN, A.P. Influência de adubação na produção e na proteína de batata-doce. **Terra**, v. 14, n. 1, p. 1–7, 1995.
- CHIZOBA EKEZIE, F.-G.; SUN, D.-W.; HAN, Z.; CHENG, J.-H. Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 58–69, 2017.
- COLESTINO, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, n. 2176–5081, p. 50, 2010.
- CORDEIRO, N.; FARIA, M.; GOUVEIA, M. *Ipomoea batatas* (L.) Lam.: A Rich Source of Lipophilic Phytochemicals. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 61, p. 12380–12384, 2013.
- CRUZ, C.D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- D'IMPERIO, M.; RENNA, M.; CARDINALI, A.; BUTTARO, D.; SERIO, F.; SANTAMARIA, P. Calcium biofortification and bioaccessibility in soilless “baby leaf” vegetable production. **Food Chemistry**, v. 213, p. 149–156, 2016.
- DA SILVA, G. O.; SUINAGA, F. A.; PONIJALEKI, R.; AMARO, G. B. Desempenho de cultivares de batata-doce para caracteres relacionados com o rendimento de raiz. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 379–383, 2015.
- DAI, J.; MUMPER, R.J. Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. **Molecules**, v. 15, p. 7313-7352, 2010.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª ed. Editora Artmed, 2010.
- DAUCHET, L.; AMOUYET, P.; DALLONGEVILLE, J. Fruit and vegetable consumption and risk of stroke: a meta-analysis of cohort studies. **Neurology**, v. 65, p. 1193-1197, 2005.
- DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades Antioxidantes De Compostos Fenólicos. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 33–40, 2004.
- DONADO-PESTANA, C. M.; SALGADO, J. M.; RIOS, A. O.; SANTOS, P. R.; JABLONSKY, A. Stability of carotenoids , total phenolics and In vitro antioxidant capacity in the thermal processing of orange- fleshed sweet potato ( *Ipomoea batatas* Lam .) cultivars grown in Brazil. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 67, n. 3, p. 262–270, 2012.

EMBRAPA, 2013 - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Batata doce biofortificada apresenta bons resultados no sul do país.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1499507/batata-doce-biofortificada-apresenta-bons-resultados-no-sul-do-pais>>. Acesso em 10 de maio de 18.

EMBRAPA, 2015 - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Alimentos biofortificados buscam reduzir a desnutrição da população.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3254365/alimentos-biofortificados-buscam-reduzir-a-desnutricao-da-populacao>>. Acesso em 16 de novembro de 2017.

EMBRAPA, 2017 - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Resultados da Rede BioFORT.** Disponível em: <http://biofort.com.br/resultados/>. Acesso em 9 de novembro de 2017.

ESAN, T. A.; SOBUKOLA, O. P.; SANNI, L. O.; BAKARE, H. A.; MUNOZ, L. Process optimization by response surface methodology and quality attributes of vacuum fried yellow fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) chips. **Food and Bioprocess Processing**, v. 95, p. 27–37, 2015.

EZEKIEL, R.; SINGH, N.; SHARMA, S.; KAUR, A. Beneficial phytochemicals in potato – a review. **Food Chemistry**, v. 50, p. 487-496, 2013.

FAO, 2016 - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **El espectro da malnutrição.** Disponível em: <<http://www.fao.org/worldfoodSummit/spanish/fsheets/malnutrition.pdf>>. Acesso em 16 de novembro de 2017.

IORE, A.; DI, R.; CAVELLA, S.; VISCONTI, A.; KARNEILI, O.; BERNHARDT, S.; FOGLIANO, V. Chemical profile and sensory properties of different foods cooked by a new radiofrequency oven. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1–4, p. 515–520, 2013.

GUO, Q.; SUN, D.-W.; CHENG, J.-H.; HAN, Z. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 236–247, 2017.

HEREDIA, A.; CASTELLÓ, M. L.; ARGÜELLES, A.; ANDRÉS, A. Evolution of mechanical and optical properties of French fries obtained by hot air-frying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 57, n. 2, p. 755-760, 2014.

HIRANVARACHAT, B.; SUVARNAKUTA, P.; DEVAHASTIN, S. Isomerisation kinetics and antioxidant activities of  $\beta$ -carotene in carrots undergoing different drying techniques and conditions. **Food Chemistry**, v. 107, n. 4, p. 1538–1546, 2008.

HOTZ, C.; LOEHL, C.; DE BRAUW, A.; EOZENOU, P.; GILLIGAN, D.; MOURSI, M.; MUNHAUA, B.; VAN JAARSVELD, P.; CARRIQUIRY, A.; MEENAKSHI, J. V. A large-scale intervention to introduce orange sweet potato in rural Mozambique increases vitamin A intakes among children and women. **The British Journal of Nutrition**, v. 108, n. 1, p. 163–76, 2012.

HWANG, T.; NDOLO, V. U.; KATUNDU, M.; NYIRENDA, B.; BEZNER-KERR, R.; ARNTFIELD, S.; BETA, T. Provitamin A potential of landrace orange maize variety (*Zea mays* L.) grown in different geographical locations of central Malawi. **Food Chemistry**, v. 196, p. 1315–1324, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes - PAM**. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam\\_2012\\_v39\\_br.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2012_v39_br.pdf)>. Acesso em 9 de novembro de 2017.

ISLAM, S. N.; NUSRAT, T.; BEGUM, P.; AHSAN, M. Carotenoids and  $\beta$ -carotene in orange fleshed sweet potato: A possible solution to Vitamin A deficiency. **Food Chemistry**, v. 199, p. 628–631, 2016.

JALAL, F.; NESHEIM, M. C.; AGUS, Z.; SANJUR, D.; HABICHT, J. P. Serum retinol concentrations in children are affected by food sources of beta-carotene, fat intake, and anthelmintic drug treatment. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, n. 3, p. 623–629, 1998.

JAMIL, K. M.; BROWN, K. H.; JAMIL, M.; PEERSON, J. M.; KEENAN, A. H.; NEWMAN, J. W.; HASKELL, M. J. Daily consumption of orange-fleshed sweet potato for 60 days increased plasma  $\beta$ -Carotene concentration but did not increase total body vitamin a pool size in Bangladeshi women. **Journal of Nutrition**, v. 142, p. 1896–1902, 2012.

JUNG, J. K.; LEE, S.; KOZUKUE, N.; LEVIN, C. E.; FRIEDMAN, M. Distribution of phenolic compounds and antioxidative activities in parts of sweet potato (*Ipomoea batata* L.) plants and in home processed roots. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 29–37, 2011.

KAO, J. F.; SHAN, Y.; JUNE, M.; DEE, W. Effects of Chinese domestic cooking methods on the carotenoid composition of vegetables in Taiwan. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 485–492, 2012.

KIDMOSE, U.; CHRISTENSEN, L. P.; AGILI, S. M.; THILSTED, S. H. Effect of home preparation practices on the content of provitamin A carotenoids in coloured sweet potato varieties (*Ipomoea batatas* Lam.) from Kenya. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, n. 3, p. 399–406, 2007.

KIM, H. J.; PARK, W. S.; BAE, J. Y.; KANG, S. Y.; YANG, M. H.; LEE, S.; LEE, H. S.; KWAK, S. S.; AHN, M. J. Variations in the carotenoid and anthocyanin contents of Korean cultural varieties and home-processed sweet potatoes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 41, p. 188–193, 2015.

KIM, H. W.; KIM, J. B.; CHO, S. M.; CHUNG, M. N.; LEE, Y. M.; CHU, S. M.; CHE, J. H.; KIM, S. N.; KIM, S. Y.; CHO, Y. S.; KIM, J. H.; PARK, H. J.; LEE, D. J. Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 966–972, 2012.

KITA, A.; BAKOWSKA-BARCZAK, A.; HAMOUZ, K.; KUŁAKOWSKA, K.; LISIŃSKA, G. The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 32, n. 2, p. 169–175, 2013.

KONICA MINOLTA, 2006. Entendendo o Espaço de Cor L\*a\*b\*. **CIELAB**. Disponível em: <<http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>>. Acesso em 14 de março de 2018.

KOTÍKOVÁ, Z.; ŠULC, M.; LACHMAN, J.; PIVEC, V.; ORSÁK, M.; HAMOUZ, K. Carotenoid profile and retention in yellow-, purple- and red-fleshed potatoes after thermal processing. **Food Chemistry**, v. 197, p. 992–1001, 2016.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

LEMO, M. A.; ALIYU, M. M.; HUNGERFORD, G. Influence of cooking on the levels of bioactive compounds in Purple Majesty potato observed via chemical and spectroscopic means. **Food Chemistry**, v. 173, p. 462–467, 2015.

LIU, S.; LIN, J.; YANG, D. Determination of cis - and trans - a - and b -carotenoids in Taiwanese sweet potatoes (*Ipomoea batatas* ( L.) Lam.) harvested at various times. **Food Chemistry**, v. 116, n. 3, p. 605–610, 2009.

LOUGHRILL, E.; GOVINDEN, P.; ZAND, N. Vitamins A and e content of commercial infant foods in the UK: A cause for concern?. **Food Chemistry**, v. 210, p. 56–62, 2016.

MARTINI, F. C. C. Comparação entre a disponibilidade de ferro na presença de vitamina A e beta-caroteno em alimentos e medicamentos. 2002. 113p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, São Paulo, 2002.

MCGEE, H. **Comida e Cozinha: Ciência e Cultura da Culinária**. 2 ed. São Paulo, SP: WMF Martins Fontes, 2014. 922 p.

MEI, X.; MU, T. H.; HAN, J. J. Composition and Physicochemical Properties of Dietary Fiber Extracted from Residues of 10 Varieties of Sweet Potato by a Sieving Method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 12, p. 7305–7310, 2010.

MELO, W. F.; DA SILVA, J. B. C.; GOMES, L. M.; MOITA, A. W.; AMARO, G. B.; FERNANDES, F. R.; NUTTI, M. R.; DUSI, A. N. Biofortificação no Brasil (BioFORT): Avaliação preliminar de clones de batata - doce ricos em betacaroteno em duas épocas de plantio. **IV Reunião de Biofortificação**, v. 2, n. 1, p. 2675–2680, 2011.

MURADOR, D. C.; DA CUNHA, D. T.; DE ROSSO, V. V. Effects of cooking techniques on vegetable pigments: A meta-analytic approach to carotenoid and anthocyanin levels. **Food Research International**, v. 65, p. 177–183, 2014.

MURPHY, E. W., CRINER, P. E., GRAY, B. C. Comparison of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.23, p.1153–1157, 1975.

NAWIRSKA-OLSZAŃSKA, A.; STĘPIEŃ, B.; BIESIADA, A. Effectiveness of the fountain-microwave drying method in some selected pumpkin cultivars. **LWT - Food Science and Technology**, v. 77, p. 276–281, 2017.

NEW, C. Y.; THUNG, T. Y.; PREMARATHNE, J. M. K. J. K.; RUSSLY, A. R.; ABDULKARIM, S. M.; SON, R. Microwave oven safety: A food safety consumer survey in Malaysia. **Food Control**, v. 80, p. 420–427, 2017.

NICOLI, M.; ANESE, M.; PARPINEL, M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 10, n. 3, p. 94–100, 1999.

NISHINO, H.; MURAKOSHI, M.; TOKUDA, H.; SATOMI, Y. Cancer prevention by carotenoids. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 483, n. 2, p. 165–168, 2009.

NZAMWITA, M.; DUODU, K. G.; MINNAAR, A. Stability of  $\beta$ -carotene during baking of orange-fleshed sweet potato-wheat composite bread and estimated contribution to vitamin A requirements. **Food Chemistry**, v. 228, p. 85–90, 2017.

OBOH, S.; OLOGHOBO, A.; TEWE, O. Some aspects of the biochemistry and nutritional value of the sweet potato (*Ipomea batatas*). **Food Chemistry**, v. 31, n. 1, p. 9–18, 1989.

PANKAJ, S. K.; KEENER, K. M. A review and research trends in alternate frying technologies. **Current Opinion in Food Science**, v. 16, p. 74–79, 2017.

PETISCA, C.; HENRIQUES, A. R.; PÉREZ-PALACIOS, T.; PINHO, O.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O. Study of hydroxymethylfurfural and furfural formation in cakes during baking in different ovens, using a validated multiple-stage extraction-based analytical method. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3349–3356, 2013.

PETRY, N.; EGLI, I.; GAHUTU, J. B.; TUGIRIMANA, P. L.; BOY, E.; HURRELL, R. Phytic Acid Concentration Influences Iron Bioavailability from Biofortified Beans in Rwandese Women with Low Iron Status. **The Journal of Nutrition**, v. 144, p. 1681–1687, 2014.

PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; STRINGHETA, P. C.; BRANDÃO, S. C. C.; DE AZEREDO, R. M. C. Carotenoid retention and vitamin A value in carrot (*Daucus carota* L.) prepared by food service. **Food Chemistry**, v. 61, n. 1, p. 145–151, 1998.

RAGHUNATH, R.; NAMBI, K. S. V. Lead leaching from pressure cookers. **Science of the Total Environment**, v. 224, n. 1–3, p. 143–148, 1998.

RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G.; SIVAKANESAN, R.; RAJAGURU, S. B. Biochemical and nutritional assessment of tubers from 16 cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, n. 10, p. 2646–2651, 1995.



RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, 1999.

REF, 2013 - Centro de Referência para Ensino da Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Panela de pressão**. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=46>>. Acesso em 06 de dezembro de 2017.

ROCCA-POLIMÉNI, R.; FLICK, D.; VASSEUR, J. A model of heat and mass transfer inside a pressure cooker. **Journal of Food Engineering**, v. 107, n. 3–4, p. 393–404, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A in prepared, processed and stored foods**. Washinton, DC: OMNI, p. 93, 1997.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington, DC: International Food Policy Research Institute; Cali: International Center for Tropical Agriculture, 2004. 58p. (Technical monograph series, 2).

ROY, M. K.; JUNEJA, L. R.; ISOBE, S.; TSUSHIDA, T. Steam processed broccoli (*Brassica oleracea*) has higher antioxidant activity in chemical and cellular assay systems. **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 263–269, 2009.

SHIH, M. C.; KUO, C. C.; CHIANG, W. Effects of drying and extrusion on colour, chemical composition, antioxidant activities and mitogenic response of spleen lymphocytes of sweet potatoes. **Food Chemistry**, v. 117, n. 1, p. 114–121, 2009.

SILVA, J. B. C. da; MELO, W. F. de; BUSO, J. A.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, P. G. B. de; CARVALHO, J. L. V. de; NUNES, M. U. C.; FARIAS, A. Beauregard: cultivar testada e indicada de batata-doce. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2010.

SIMONNE A. H.; KAYS, S. J.; KOEHLER P.E.; EITENMILLER R.R. Assessment of betacarotene content in sweetpotato breeding lines in relation to dietary requirements. **Journal of Food Composition and Analises**, v.6, p.336-345, 1993.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

TEOW, C. C.; TRUONG, V.-D.; MCFEETERS, R. F.; THOMPSON, R. L.; PECOTA, K. V.; YENCHO, G. C. Antioxidant activities, phenolic and  $\beta$ -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. **Food Chemistry**, v. 103, n. 3, p. 829–838, 2007.

TIAN, J.; CHEN, J.; LV, F.; CHEN, S.; CHEN, J.; LIU, D.; YE, X. Domestic cooking methods affect the phytochemical composition and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1264–1270, 2016.

TIAN, J.; CHEN, J.; YE, X.; CHEN, S. Health benefits of the potato affected by domestic cooking: A review. **Food Chemistry**, v. 202, p. 165–175, 2016.

TIAN, J.; CHEN, S.; SHI, J.; CHEN, J.; LIU, D.; CAI, Y.; OGAWA, Y.; YE, X. Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: An in vitro study. **Food Structure**, v. 14, p. 30–35, 2017.

TRUONG, V. D.; MCFEETERS, R. F.; THOMPSON, R. T.; DEAN, L. L.; SHOFRA, B. Phenolic Acid Content and Composition in Leaves and Roots of Common Commercial Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) Cultivars in the United States. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 6, p. C343–C349, 2007.

VAN JAARSVELD, P. J.; FABER, M.; TANUMIHARDJO, S. A.; NESTEL, P.; LOMBARD, C. J.; BENADÉ, A. J. S.  $\beta$ -Carotene-rich orange-fleshed sweet potato improves the vitamin A status of primary school children assessed with the modified-relative-dose-response test. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, n. 5, p. 1080–1087, 2005.

VELHO, C. F. D. L. Avaliação da retenção de nutrientes, aspectos sensoriais e microbiológicos de batata doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) submetida a diferentes métodos de cocção. **Dissertação** (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

VIZZOTTO, M.; PEREIRA, E. DOS S.; VINHOLES, J. R.; MUNHOZ, P. C.; FERRI, N. M. L.; CASTRO, L. A. S. DE; KROLOW, A. C. R. Physicochemical and antioxidant capacity analysis of colored sweet potato genotypes: *in natura* and thermally processed. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. 1–8, 2017.

WANG, S.; NIE, S.; ZHU, F. Chemical constituents and health effects of sweet potato. **Food Research International**, v. 89, p. 90–116, 2016.

WOESTENENK, J. W.; BROOS, N.; STELLATO, R. K.; ARETS, H. G. M.; VAN DER ENT, C. K.; HOUWEN, R. H. J. Vitamin A intake and serum retinol levels in children and adolescents with cystic fibrosis. **Clinical Nutrition**, v. 35, n. 3, p. 654–659, 2014.

XU, B.; CHANG, S. K. C. Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. **Food Chemistry**, v. 110, n. 1, p. 1–13, 2008.

YANG, Y.; ACHAERANDIO, I.; PUJOLÀ, M. Effect of the intensity of cooking methods on the nutritional and physical properties of potato tubers. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1301–1310, 2016.